

С. К. Стафеев, М. Г. Томилин

ПЯТЬ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ ОПТИКИ: СРЕДНЕВЕКОВЬЕ

РЕКОМЕНДОВАНО

УМО вузов РФ по образованию

в области приборостроения и оплотехники

для студентов высших учебных заведений,

обучающихся по направлениям подготовки

магистратуры «Приборостроение», «Оплотехника»,

«Фотоника и оптоинформатика»,

«Лазерная техника и лазерные технологии»,

специалитета «Электронные и оптико-электронные приборы

и системы специального назначения»,

аспирантуры «Фотоника, приборостроение, оптические,

биотехнические системы и технологии»



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2015

ББК 22.34я73

С 67

Стафеев С. К., Томилин М. Г.

С 67 Пять тысячелетий оптики. Т. 3: Средневековье / Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 640 с. : ил. (+ вклейка, 32 с.). — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-1877-0

Книга посвящена истории становления и развития оптики в период с V по XV в. Она является продолжением книг авторов «Пять тысячелетий оптики: предыстория» (2006) и «Пять тысячелетий оптики: Античность» (2010).

В третьей книге на фоне панорамы жизни европейского и арабского сообществ и развития научного знания в период Средневековья рассматриваются новые представления ученых о природе света и механизме зрения, достижения оптической науки и ее связи с религией, философией и изобразительным искусством. В этот период греческая *Оптика* трансформируется сначала в арабскую *аль-Маназир*, а затем в латинскую *Перспективу*, основанную на схоластических методах познания мира. Проанализированы математические основы средневековой оптики, вопросы физики и метафизики света и цвета, теории видения, оптические материалы, технологии и устройства. Главным достижением Средневековья в области физической оптики явился отказ от гипотезы зрительных лучей, а в прикладной оптике — изобретение и распространение очков. Особое внимание в книге уделено научному наследию создателей средневековой оптики Альхазену, Гроссетесту, Вителло, Пеккаму и их сподвижникам.

Оптические достижения Средневековья остаются предметом увлекательных исследований вплоть до наших дней. Книга снабжена богатым иллюстративным материалом и обширным списком литературы. Она предназначена студентам, изучающим физику и естествознание, аспирантам оптических специальностей, научным сотрудникам, всем изучающим историю и философию науки.

ББК 22.34я73

Рецензент

Н. М. АЛЬ-АНИ — доктор философских наук, профессор кафедры философии Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

Научные редакторы:

В. Н. ВАСИЛЬЕВ — ректор Университета ИТМО;

В. А. ЗВЕРЕВ — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Литературный редактор

Г. Е. БЫСТРОВА.

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2015

© Коллектив авторов, 2015

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2015

ОТ НАУЧНЫХ РЕДАКТОРОВ

Книга профессоров Университета ИТМО С. К. Стафеева и М. Г. Томила «Пять тысячелетий оптики» не имеет аналогов в мировой практике ни по глубине, ни по широте охватываемого материала. Даже по жанру она находится на грани занимательного популярного изложения и строгого описания оптических явлений, увиденных глазами ученых предшествующих поколений. В этом нас убеждает и третий том монографии авторов по истории оптики, посвященный периоду Средневековья.

Первые два тома монографии *Предыстория* и *Античность* получили положительные отзывы широкой читательской аудитории и фактически стали раритетами. Яркие примеры становления оптического знания, уникальные исторические факты, богатый иллюстративный материал — все это дало ожидаемый результат: книги стали подарочными. Их покупали специалисты, приобретали для детей родители, вручали студентам и аспирантам в качестве награды за успехи в учебе, а друзья дарили их оптикам, выходящим на пенсию или отмечающим памятные даты.

Главное достоинство изданий «Пять тысячелетий оптики» состоит в том, что они привлекают внимание молодого поколения к этой древнейшей науке, стоящей у истоков мировоззренческих представлений на всех стадиях развития человечества. Обращение к прошлому всегда оправдано, как писал средневековый аббат и строитель готического храма Сугерий, *из страха, что забвение, ревнивый соперник истины, вмешается и сохрет любое деяние ради деяния последующего.*

Третий том посвящен вопросам метафизики света и цвета, революции в представлениях о механизме зрения, открытию прозрачного стекла, венецианским зеркалам и изобретению очков. Эти достижения увенчались признанием интрамиссионной модели видения, становлением науки *Перспектива* и распространением наблюдательных приборов, открывших первую страницу прикладной оптики. Интересные факты авторы нашли, обсуждая основанную на схоластике связь оптики с философией, религией и искусством, методе познания мира.

Весьма знаменательно, что данный, третий, том, посвященный, в том числе, революционным оптическим теориям средневековых арабских мыслителей, выходит в 2015 г., который официально объявлен ЮНЕСКО годом света и световых технологий. Время было выбрано неслучайно — ровно

тысячу лет назад великий Альхазен (Ибн-аль-Хайтам), позже получивший титул «отца оптики», заложил основы современного понимания механизма зрения и природы света. Именно тогда начался закат античной теории «зрительных лучей» и оптическая наука стала приобретать современные очертания. Подробности этого открытия, а также многие другие малоизвестные исторические факты, пытливый читатель найдет в представляемой книге. Думается, что она будет полезна не только студентам, аспирантам и научным сотрудникам, работающим в области оптики, но и всем, кто интересуется историей науки, ее сложными взаимоотношениями с религией, а также передачей знаний и трансформациями идей внутри классического треугольника Науки — Искусства — Технологии.

*В. Н. Васильев, чл.-корр. РАН, ректор Университета ИТМО,
В. А. Зверев, заслуженный деятель науки РФ*

ОТ АВТОРОВ

Книга посвящена истории становления и развития оптической науки в период с V по XV в. Она является продолжением работ авторов «Пять тысячелетий оптики: предыстория» и «Пять тысячелетий оптики: Античность», опубликованных издательствами «Политехника» (2006) и «ФормаТ» (2010). В ней анализируются основные этапы развития оптического знания, математических основ оптики и ее прикладных разделов в Средние века. Это время характеризуется преобладающей ролью религии в духовной жизни общества, и основное направление в оптической науке было связано с развитием и определяющей ролью христианской метафизики света.

Высшие естественнонаучные достижения арабов относятся только к IX–XI вв. До этого длился период ретроградных тенденций, забвения наследия предков и даже уничтожения научного знания. В последующие столетия фактически развивались идеи, заложенные греками и мусульманами. Тенденции в науке характеризовались снижением интереса к *высоким эмпириям*, затем доминировал схоластический подход и возросло влияние церковной догматики. Усилиями арабских и византийских ученых античное знание перешагнуло через *темные века* и составило содержание курсов западноевропейских университетов. Именно там, после нескольких веков религиозного забвения, оно и было разыскано и востребовано эпохой Возрождения.

Средние века вызывают различные оценки историков. Однако нельзя не отметить, что это была эпоха уникальной, удивительно яркой культуры, многие страницы которой вызывают восхищение по сей день. Это и готические соборы, и замки, и песни трубадуров, и, наконец, рыцарская культура. Разве возможно представить себе Париж без собора Парижской Богоматери, Лондон без Тауэра, Англию без легенд о короле Артуре и рыцарях круглого стола? В Средние века возникло большинство современных государств, сформировались современные языки — английский, французский, итальянский и многие другие. Именно тогда был созван первый парламент. Наконец, именно в этот период Европа стала христианской.

Математическая протонаука явилась той общей парадигмой в совокупности конкретных традиций, которая характеризует научные знания Средневековья. С другой стороны, этот период характеризуется утверждением метафизики, а сам процесс познания мира трактуется как Божественное Откровение, ревностно опекаемое религиозным каноном. Первое тысячелетие нашей эры знаменует собой активное формирование собственных теорий и методологий познания основными мировыми монотеистическими религиями.

Поскольку начиная со Средневековья развитие всех научных знаний лежало в лоне церкви, то получение новых сведений об окружающем мире воспринималось как Божественное Откровение. Поэтому и оптику этого периода следует характеризовать как оптику божественного. В основе научных представлений лежал фундаментальный принцип зеркального отражения, объединяющий философские, религиозные, научные и эстетические представления.

Период Средневековья, отмеченный неразрывной связью оптики с религией, ознаменован созданием первых университетов, учреждением оптических мастерских, а в методическом аспекте схоластическим подходом в науке и возрастающей ролью экспериментальных исследований. Самым знаменательным событием в мировоззренческом плане явилось утверждение интрамиссионной модели зрения, иллюстрирующей метафизический подход к познанию окружающего мира, и рождение средневековой науки *Перспектива*. Одним из самых знаменательных достижений прикладной оптики за все время развития человечества явилось изобретение и широкое распространение очков. Эту веку принято считать зарождением практической оптики. В это же время стали использовать камеру-обскуру и многие наблюдательные приспособления.

Об интеллектуальных достижениях Средневековья написано достаточно много, особенно европейскими исследователями. Но среди ведущих медиевистов с мировым именем авторам хочется выделить профессора университета Мэдисон штата Висконсин в США Дэвида Линдберга. Мы не только постоянно ссылаемся на его труды в историко-научном обзоре и разделах, посвященных особенностям средневековой оптики, но и разделяем его базовые идеи об определяющем влиянии этого периода на все последующее становление оптической науки.

Эволюция идей, экспериментальных методов, открытий и представлений, более тысячелетия формирующих, изменяющих и уточняющих представления человечества, привела к развитию новых представлений о научной картине мира. И в этой картине не всегда можно однозначно и бесспорно выделить то, что понимается под оптикой. Не менее интересно обратное: роль оптики в формировании этой картины. Как однажды заметил профессор физики Георг Кривостов Лихтенберг, автор известных *Афоризмов*, что *кто не понимает ничего, кроме физики, тот и ее понимает недостаточно*. Однако наряду с прогрессом в формировании научной картины мира он сопровождался присутствием суеверий: астрологии, магии, кабалистики, ведовства. Пути истин постоянно проверялись испытаниями на достоверность.

Фундаментальным понятием оптики является свет. Постигание природы света и механизмов зрения явилось важнейшим стержнем развития науки, философии, религии и искусства, а значит, и мировоззрения человечества в целом. Здесь уместно привести знаменитую фразу У. Брэгга: *В слове «свет» заключена вся физика и тем самым все науки*. С постижением новых знаний о природе света происходила смена парадигмы мировосприятия на всем процессе эволюции человечества.

Возвращение к далекому прошлому оптики обладает удивительным свойством: оно постоянно заставляет задумываться о настоящем и будущем. Как

заметил средневековый ученый ибн Халдун, *прошлое похоже на будущее больше, чем одна капля воды похожа на другую.*

Прежде чем приступить к рассмотрению тематики данного тома по существу, авторы должны сделать ряд технических комментариев. Следует обратить внимание на сложность и неоднозначность средневековой терминологии и замену ее современными терминами в настоящем издании. Что уж говорить о специфике, если само слово «ученый» (в английском написании) появляется только после работ Уильяма Хьюэлла 1840 г.! Даже выбор написания имен собственных для средневековых мыслителей (особенно мусульманских) был заметной трудностью для авторов. В итоге для арабов латинский вариант был выбран, кажется, только в отношении Авиценны, Аверроэса и Альхазена.

Применительно к названиям некоторых произведений, оказалось сложно определить об одном или о разных трудах идет речь. В зависимости от перевода и от языка, через который транслировались тексты древних, даже великие произведения фигурируют в разных написаниях: Евклид «Начала» *греч.* — «Элементы» *лат.*, Аристотель: «De sensu — De sensu et sensate/О чувствах — Об ощущениях (и ощущаемом) — О восприятии (и воспринимаемом)» и т. д. В последнем случае мы остановились на наиболее употребительном варианте, но для многих других малоизвестных произведений выбор оказался не столь очевидным.

Следует пояснить принятый в книге порядок отсылки к иллюстративному материалу. Под сокращением «рис.» понимаются черно-белые (штриховые и полутонные) изображения, расположенные по тексту. Ссылки на «ил.» указывают на цветные иллюстрации, которые следует искать в двух блоках-вклейках, равномерно распределенных по всему изданию.

Издание учебного пособия, как бы долго и трудно оно не осуществлялось, неизменно поддерживалось администрацией Университета ИТМО и в первую очередь его ректором Владимиром Николаевичем Васильевым. Много сил и времени потратили на поиск ценных материалов по средневековой оптике сотрудники библиотек Государственного оптического института и Университета ИТМО. Авторы выражают признательность своим близким, друзьям и коллегам за помощь в работе: С. В. Стафеевой, О. В. Томилиной, Д. Л. Степанову, Н. А. Гавриловой, а также профессору Э. И. Слепяну за возможность использования его материалов по истории арабского мира. Авторы пользовались бескорыстной помощью коллег при переводах оригинальных материалов с латинского и польского (М. В. Иванова и Ю. В. Арбузов), получали полезные консультации (Б. К. Рожков), восхищались трудолюбием и профессионализмом редактора книги Г. Е. Быстровой. Всем им авторы также выражают искреннюю благодарность.

*2014 г., Санкт-Петербург — Валдай — Санкт-Петербург
М. Г. Томилин, С. К. Стафеев*

Последние фразы этой книги дописывались и редактировались уже после скоропостижной кончины Максима Георгиевича Томилина. Он был крупным ученым, великолепным педагогом, душевным и отзывчивым человеком. Нет сомнений, что все три книги нашего общего учебного пособия никогда не появились бы на свет без энергии и увлеченности Максима Георгиевича. Рассматривая область оптической науки максимально широко, он стремился к определению ее связей со многими другими интеллектуальными сферами — живописью и архитектурой, ювелирным делом и витражным искусством, методами ориентации в пространстве и времени. Он не боялся «подставляться» под критику со стороны ортодоксальных ученых и в то же время оставался вполне рациональным при рассмотрении метафизических гипотез или вопросов эмоционального восприятия зрительных образов.

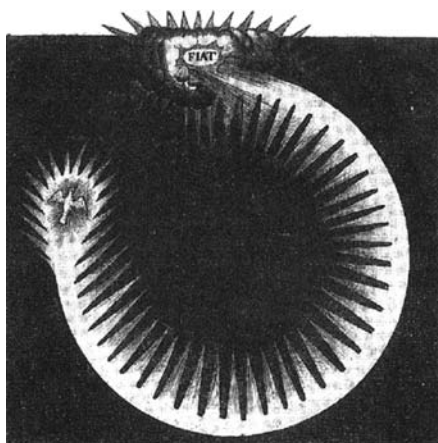
Издание этой книги, помимо всего прочего, стало для меня долгом по отношению к соавтору и старшему другу. Надеюсь, что и наши общие планы по продолжению произведения рано или поздно претворятся в жизнь в виде томов, посвященных оптическим достижениям Ренессанса и, конечно, оптической революции XVII в.

*2015 г., Санкт-Петербург
С. К. Стафеев*

Религии рассеиваются, как туман,
царства разрушаются,
но труды ученых остаются на все времена.

Мирза Улугбек (1394–1449)

ПРЕДИСЛОВИЕ: ОПТИКА СРЕДНЕВЕКОВЬЯ КАК СЛУЖАНКА РЕЛИГИИ



Первый день творения (Да будет свет!)
(ил. из книги Р. Флудда
«О космическом двуединстве».
Франкфурт, 1617)

Понятие Средневековья впервые появляется в XIV–XV вв. в трудах итальянских ученых-гуманистов, которые определили его как время между яркими достижениями Античности и просвещением своего времени. Это уничижительное мнение, знакомое и нам по эпитету *темные века*, сегодня отброшено профессиональными историками. Употребительным осталось лишь выражение *Средние века* как наименование того периода истории, на протяжении которого были сделаны важные вклады в западную культуру. Условно Средневековье охватывает период от заката романской цивилизации на латинском западе от 500 до 1450 гг., когда художественное и литературное возрождение, обычно известное как эпоха Ренессанса, стало широким дви-

жением. Этот период иногда разделяют на этапы: ранние Средние века (ок. 500–1000 гг.), переходный период (от 1000 до 1200 гг.) и высокое, или позднее, Средневековье (1200–1450). Это деление не совсем точно и не всеми принято (иногда разделяют высокое и позднее Средневековье) [253].

Период Средних веков связан со становлением физической оптики, получившей в наследство от Античности признание ее как самостоятельной науки со своей логикой развития, простейшим математическим аппаратом и элементами структурирования. Были сформулированы первые физические и метафизические теории о свете и зрении, предложены первые модели зрения, развиты представления об отражении и преломлении света. Практические приложения оптики охватывали круг вопросов от сконографии и архитектуры до создания ряда отражательных зеркал и линзоподобных элементов. Были усовершенствованы древние наблюдательные устройства (гномон, визирная трубка) и созданы первые оптические инструменты — диоптры, армиллы, астролябии и квадранты. Этот период можно характеризовать как накопление информации об оптических явлениях и объектах, их упорядочивание, классификация с целью облегчения анализа для установления эмпирических качественных и количественных связей и соотношений между ними.

Оптику Средневековья в полной мере можно отнести к описательному периоду ее развития, однако содержательная часть претерпела существенные изменения. Если оптика Античности представляла собой раздел натурфилософии, нашедшей отражение в парадигме Аристотеля и Птолемея, аксиоматике Евклида, приведших к развитию разделов геометрической оптики, то оптика Средних веков явилась в значительной степени плодом развития метафизики. В духовной жизни этого периода во взаимоотношениях науки, философии и религии определяющую роль стала играть религия, опирающаяся на принципиально новое христианское мировоззрение [103]. Христианство, выросшее из небольшой иудейской секты на задворках Римской империи, становится основной религиозной силой в III в. и государственной религией в конце IV в. И этому мировоззрению предстояла огромная интеллектуальная работа по доказательству глубины и несокрушимости Христовых истин и их превосходства над истинами философии и науки. Эти доказательства шли разными путями.

Одна часть христианских апологетов заняла непримиримую позицию в отношении эллинской мудрости: христианское богословие и человеческая мудрость, выраженная в философии и науке язычества, несовместимы. Выразителем этой позиции был христианский богослов Квинт Септимий Флоренс Тертуллиан (160 — ок. 240 гг.). Он считал, что язычники не просто многобожники, но и хулители единого истинного Бога, которого заменяют множеством выдуманных богов. Существовавший разнобой во мнениях о божестве происходит от того, что эллинская мудрость лишь стремится к истине, которая ей не доступна, в то время как *христиане ею владеют*. Истина пребывает не в умах эллинских мудрецов, а в простоте сердца верующего христианина, и открывается она не похоти любознательности, а чистой вере. Эта позиция пустила глубокие корни в западной теологии и практике католической церкви, существенно повлияла на ее отношение к науке и философии в развитии западной цивилизации.

В восточной части христианского мира доминировало мнение, что великую тайну Откровения невозможно выразить ни философским, ни научным языком и невозможно постичь человеческим разумом, поскольку она сверхразумна и сверхлогична.

Но было понятно, что полное игнорирование философии и науки в объяснении положений христианского учения наносит непоправимый вред самому христианству. Только средствами философии и науки можно было смягчить жесткое неприятие языческой культуры и возвысить роль христианского учения, несущего не разъединение и вражду, а мир и спокойствие, любовь и справедливость.

Первыми предприняли попытку объединить христианство с эллинской мудростью гностики. Они стремились к созданию мировой религии слиянием существующих религий, добивались главенства философии над теологией в рамках христианства и утверждали, что только знание ведет к Богу и истине. Но они были обвинены в ереси и отлучены от христианской церкви.

Александрийская школа катехизаторов *дала христианству форму научной системы, почерпнув ее из продуктов греческого мышления*. Они считали философию и научное знание лишь способами доказательства положений веры. Проповедниками этого были Климент Александрийский (150 — ок. 215 гг.), Ориген (ок. 185–253 гг.) и Блаженный Августин (354–430 гг.). Как христианский теолог, Августин, отдавая должное роли и значению знания, ставит выше знания веру, ибо полнота знания содержится в вере. Роль науки в познании Божественных истин есть роль *вождя, который по указанию Божию приведет в самые тайники истины*. Более полно теоретическое обоснование христианских догматов с опорой на достижения человеческой мудрости дала восточная христианская патристика IV в. Она создала христианскую философию и науку.

В этих условиях в период Средневековья влияние церкви на развитие науки было определяющим. Как мирская власть должна была служить власти духовной, так и философия с наукой должны были стать служанками теологии.

В XVIII–XIX вв. считалось, что христианство представляло серьезное препятствие распространению науки и загнало ее в тупик, из которого она не могла выйти более тысячи лет. Распространенное мнение состояло в том, что зарождающееся христианство (как позднее ислам) было широким антиинтеллектуальным движением, а лидеры церкви предпочитали фанатизм убеждениям и игнорировали образование. На самом деле христианство скоро осознало, что чтение Библии требует знакомства с письменностью и литературой, и на длительное время церковь стала покровителем образования на латинском Западе и хранителем классической интеллектуальной традиции. Критический взгляд на раннюю церковь как на препятствие на пути научного прогресса может опираться на то, что положение служанки, указанное для натурфилософии, несовместимо с генезисом науки. Настоящая наука не может быть служанкой, но должна развиваться автономно; следовательно, средневековые *дисциплины* в понимании Августина не есть науки вообще. Однако наука постоянно обслуживает идеологию, социальные программы или практические нужды. Вопрос не в роли науки как служанки, а в том,

кому она служит — какую, собственно, госпожу она ублажает. Одним из путей опеки обучения со стороны церкви было создание и поддержка школ.

Когда классические школы Античности рассеялись, лидерство в продвижении грамотности и образованности перешло к монастырям. В них сохранилась классическая традиция, обслуживавшая религию и теологию. Безусловно, научная эрудиция упала, поскольку фокус переместился на религиозные и духовные материи: интерпретацию Библии, религиозную историю, управление церковью и развитие христианской доктрины. Но это не означает, что научные предметы были уничтожены, а книги сожжены. Даже религиозные и теологические работы были написаны на основе классической традиции, особенно греческой логики и метафизики. Возрождение образования началось благодаря усилиям мастеров-учителей и использованию латинских источников. Однако еще до конца XII в. оно преобразовалось за счет появления новых книг, содержащих новые идеи, только что переведенные с греческих и арабских оригиналов. Эти материалы сначала тонким ручейком, а затем мощным потоком радикально изменили интеллектуальную жизнь на Западе. Европа вынуждена была бороться за уменьшение своих интеллектуальных потерь; позже она столкнется с иной проблемой ассимиляции слишком большой массы новых идей [141], [142].

Натурфилософии и математическим наукам в позднеантичных школах уделялось ограниченное внимание. Они включались лишь как примеры в грамматическое или риторическое образование; большее значение эти вопросы имели в философском образовании. Римское образование начиналось как частная инициатива, зависящая от желания родителей и возможностей преподавателя. Со временем развилась система местной и государственной поддержки; были введены платные позиции для учителей во всех крупных городах. Но когда Западная Римская империя начала клониться к закату, то же стало происходить и с образовательными программами. Особенно критической была потеря жизненной силы городов, сокращение размеров, достатка и влияния высшего класса, для которого школы собственно и создавались.

Большинство самих отцов ранней церкви получило классическое образование. Вместо того, чтобы отречься от школьной культуры, они попытались его приспособить. Значительное число христиан продолжало посылать своих детей в римские школы. Их христианская вера и чувства влияли на школьные программы, но не разрушали классическую традицию. Что касается духовенства, то оно выросло из людей, которые полностью сформировали свое грамматическое и, возможно, риторическое образование. Их теологическое и доктринальное образование затем было получено через ученичество или епископальные школы, возглавляемые епископами для обучения новообращенных и будущих духовных лиц.

Особая роль в образовании принадлежит христианскому монашеству, появившемуся на Западе в IV в. Святой Бенедикт (ум. 550 г.) основывает монастырь в Монте-Кассино (южнее Рима) и пишет законы для управления жизнью живущих там монахов. Эти правила становятся широко известными и распространяются на многие западные монастыри. Они регламентируют аспекты жизни монахов или монахинь, обязывая их посвящать свободное от

молитв время определенным занятиям: рукоделию, медитациям и ручному труду. Практическая деятельность могла включать чтение Библии и благочестивой литературы, что требовало подготовки. Бенедикт предписывал монахам и монахиням иметь дело с книгами, таблицами и писаниями. Поскольку монастыри принимали молодых людей, они учили их читать. Таким образом, в ранней истории монастырей можно найти зарождение монастырских школ. Монастыри стали собирать библиотеки и основывать скриптории для копирования рукописей.

Поначалу монастырское образование было направлено на удовлетворение нужд монастырского сообщества. Библия была сердцевиной образовательной программы; комментарии и святые писания поддерживали ее текст. Математические искусства квадривиума обычно рассматривались на элементарном уровне, но и исключения из этого найти нетрудно. Иллюстрацией проникновения классического образования в христианское сообщество является монастырь Вивариума, основанный римским сенатором Кассиодором (480–575) после того, как он оставил публичную деятельность. Он основал в монастыре обширный скрипториум, приспособленный к переводам греческих работ на латынь и сделал обучение существенной частью жизни монахов. Он даже написал руководство по монастырскому обучению, в котором рекомендовал широкую коллекцию языческих авторов и кратко обсудил каждое из семи свободных искусств. От остальных лидеров монастырского движения он отличался мнением об оценке уровня образования, не противоречащего целям церкви. Учение поощрялось, но только до пределов, диктуемых религиозными уставами. Наука и натурфилософия были маргинальны для этих целей — если не бесполезны. Нет сомнений, что знание греческой натуральной философии и математических наук обвалилось; и несколько оригинальных достижений в Западной Европе на протяжении раннего Средневековья не меняют общей картины. Новые данные наблюдений или критические обсуждения существовавших теорий почти отсутствовали. Креативность не исчезла, но была направлена на выживание в негостеприимном мире. Вклад религиозной культуры в научное движение был ограничен сохранением и передачей. Монастыри выступали как передатчики грамоты и классической традиции (включая науку и натурфилософию) в этот период, когда грамотность и ученичество были под угрозой исчезновения. Без них Западная Европа вообще не сохранила бы науку [260].

В то время как на латинском Западе классическая традиция постепенно угасала, а натурфилософия становилась служанкой теологии и религии, восточная половина старой Римской империи отделилась от Запада и на ее основе возникла Византийская империя со столицей в Константинополе. Ее большая социальная и политическая устойчивость обеспечила продолжение школьной традиции.

Классическое обучение в школах поддерживалось отработанным механизмом копирования античных работ и переводами новых. Восток никогда не чувствовал себя отделенным от источников греческого образования лингвистическим барьером.

Работы Платона, Аристотеля и лидеров неоплатонизма были доступны либо непосредственно, либо через комментарии. Состояние всех трех tradi-

ций было тесно связано с ростом византийского христианства, которое вынуждало к множеству компромиссов, но без полного подчинения философии и науки верховенству теологии. Обычным жанром школьных писаний были комментарии к античным текстам, использовавшие архаичную структуру и словарь классического периода, возводя барьер между школьной ученостью и разговорным языком рынка и улицы.

Когда мир Греции и Рима в поздней Античности увядал, возникли два параллельных интеллектуальных течения. Вначале Византия имела интеллектуальное преимущество, но Запад вырвался вперед за счет переводческих усилий с греческого и арабского на латынь в XI и XII вв. Культурные характеристики этих течений были различны: в Византии особое внимание уделяли сохранению античного философского и научного наследия, а на латинском Западе начиная с XII в. пытались усвоить лавину новых материалов. Просачивания между каналами переносили интеллектуальные продукты с Запада на Восток и наоборот. Византия предоставила Западу несколько сокровищ: критику Аристотеля от Иоанна Филопониса, гербарий Диоскорида, птолемеевскую астрономию и географию.

На протяжении тысячелетия после Александра его азиатские территории стали плодородной почвой для религиозных течений, где процветали зороастризм, христианство, манихейство, боровшиеся друг с другом за новообращенных. Все три религии основывались на священных книгах и потому культивировали грамотность и обучение. Христианство и манихейство требовали определенного греко-философского фундамента и тем самым вносили вклад в эллинизацию новых территорий. Этот процесс распространился на эллинизацию ислама и на содержание образовательных программ западноевропейских университетов позднего Средневековья.

В период латинского Средневековья францисканский монах Р. Бэкон предпринимал усилия по возвращению христианства на путь истинный. Он полагал, что *руководные дисциплины, в частности оптика, должны обслуживать религию и теологию*. В этом выразилась приверженность августианским идеалам науки как служанке религии. Бэкон на примере оптического знания подтвердил концепцию полезности натурфилософии для христианской религии. Мнение о несовместимости средневековой науки и религии преувеличено поздними философами и историками науки.

Подводя итог роли науки, и в частности оптики в период Средневековья, следует признать ее несомненную функцию как служанки религии и теологии. Но надо учитывать и положительную роль религии, взявшей на себя сохранение и адаптацию классических достижений античной науки и развитие христианского образования: самыми выдающимися учеными Средневековья были служители церкви.

Позитивный взгляд на научные достижения в Средние века находится в противоречии с мировой историографией, которая характеризовала этот период как период застоя и ретроградного развития между вершинами античной натурфилософии и полетом научной мысли эпохи Возрождения. Такие взгляды относились и к истории оптики. Один из добровольных рецензентов книги, посвященной античной оптике, написал: *интересно узнать, как авторы выпутаются из ситуации, когда им придется писать книгу о периоде*

Средневековья, в который ничего нового по сравнению с Античностью в оптике не появилось.

Содержание третьей книги по истории оптики, по нашему мнению, убедит читателей в ограниченности такого взгляда. В контексте общих тенденций Средневековья периоды и регионы *тьмы и невежества* соседствовали с великими научными достижениями и выдающимися техническими изобретениями. Если говорить только об оптике, то непредвзятый исследователь признает превосходство над античным знанием трактатов мусульманских ученых ал-Кинди и ибн Зала. Их ученик великий аль-Хайсам (Альхазен) произвел настоящую революцию, вернув световым лучам решающее значение и правильную направленность при формировании оптических изображений. Средневековая университетская схоластика, о которой говорилось только в негативном аспекте, породив методологию научного диспута, аргументации *pro & contra*, в конечном счете привела к трансформации греческой *Оптики* в латинскую науку *Перспективу*. Плеяда ученых-перспективистов — Роджера Бэкона, Иоанна Пеккама, Вителло — передала эпохе Ренессанса глубокие оптические достижения, воспринятые Леонардо да Винчи, Коперником, Декартом и Кеплером.

Говоря о реальных технических достижениях Средневековья, следует выделить создание наблюдательных инструментов и устройств, ставших впоследствии основой прикладной оптики. Великое изобретение арабов — астрольбия, с ее безлинзовыми диоптрами и метрологически обеспеченной технологией визирования — была предшественницей диоптрических рефракционных инструментов. Она обеспечила корректировку наблюдений античной астрономии, подготовила реформу календаря, привела к расцвету картографии и, в конечном итоге, к великим географическим открытиям. Изобретенный в ретортах алхимиков процесс амальгамирования совместно с успехами венецианских стеклоделов дал миру великолепные зеркала на стеклянной основе, заменившие полированную бронзу в будуарах модниц и оптических лабораториях мира. Без этого не смогла бы стремительно развиваться средневековая катоптрика, не появились бы телескопы-рефлекторы и отражательные системы освещения. Изобретение на рубеже XIII–XIV вв. очков для дальнорюжих стало достижением, значение которого трудно переоценить. Если бы Средние века подарили человечеству только университеты, библиотеки и очки, то и тогда этот период нельзя было бы назвать *темными веками* в истории интеллектуального прогресса.

Читателя ожидает долгая дорога. Сначала он погрузится в натурфилософию и метафизику Средневековья, затем отправится к истокам арабского учения о свете и зрении. Здесь его ждут революционные идеи *отца оптики* Алхазена, открытие закона преломления, начала офтальмологии. Проследив за процессом трансляции знаний с мусульманского Востока на католический Запад, он ознакомится с особенностями науки *Перспективы*, где соединились греческие знания по оптике и экспериментальное мастерство латинян. Этому будут посвящены первые три части тома. Далее следует раздел, где на цитировании источников будет показано, насколько прозорливыми были средневековые основатели оптической науки — арабы и европейцы. В этой части согласно античной традиции Теофраста приводятся коммен-

тарии к текстам. Здесь же будет приведена основная часть математических аксиом и теорем, содержащихся в оптических трактатах. Отдельная часть посвящена подробному анализу десяти книг великой «Перспективы» поляка Вителло. Эти части адресуются профессионалам. Завершающая часть книги посвящена началам прикладной оптики: технологии получения прозрачного стекла, цветным стеклам витражей, читальным камням и первым очковыми линзам, созданию и применению плоских, выпуклых и вогнутых зеркал, многообразию средневековых визирных инструментов. В заключение рассматриваются оптические загадки этого периода.

Достижения средневековой оптики были связаны с общей историей научных и технических достижений этого времени. Поэтому изложение начинается с рассмотрения всей совокупности течений интеллектуального процесса, берущего начало в поздней Античности и направлявшегося мощными духовными исканиями новых монотеистических учений.

ЧАСТЬ **1**

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Когда ученик готов, учитель найдется.

Восточная мудрость



Святой Иероним в келье (Альбрехт Дюрер, 1514)

ВВЕДЕНИЕ

В 476 г. н. э. Западная Римская империя пала под нашествием германских племен. Причин ее заката было много, в том числе и неограниченная экспансия на все Средиземноморье, включая Грецию, Египет и Ближний Восток. Распространяя свое владычество, римляне не ставили целью распространение своей культуры, а присоединяли покоренные народы, получая при этом не только материальные выгоды, но и многочисленные проблемы. Рим не воспринял от Греции ее научного и философского наследия: точные науки и философская мысль, которыми она гордилась, не передались латинской культуре. «Быстрота, с какой в века перелома падает та культура, какая была славой Рима: жизнь правовых наук, литературы и сопровождающей ее грамматики — грозный признак крушения» [24].

Существенный урон античной культуре нанесло возникновение христианства — мировоззрения, противопоставленного «языческой мудрости». Политеистические пантеоны богов, собранные со всех концов римской ойкумены и игравшие в позднеантичном обществе только формальные и даже бюрократические роли, не выдержали натиска монотеизма. Если древний мир язычников был цикличным, то христианство убило эту цикличность. Оно разорвало круг времени и остановило коловращение событий. Время стало направленным отрезком. Мир обрел начало — Сотворение, в котором в соответствии с победившей доктриной важнейшую роль играл *свет*. Отражениями этого первоначального огня творения становились сияющие нимбы святых, Фаворский свет, нерукотворный огонь Кувуклии и многое другое. Отсюда постоянные обращения апологетов христианства к иерархии световых субстанций, к дуализму света физического, постигаемого, и метафизического, непостижимого.

С зарождения христианства внимание Отцов Церкви было приковано к вопросам визуального восприятия: зрение чувственное становилось аналогом прозрения духовного. Их волновали проблемы сотворения человека по образу и подобию Божьему, природа Божественной Троицы, создание и почитание святых икон. Все это предопределило трансформации греческой *оптики* как науки о природе света и механизме зрения в средневековую *Перспективу* — науку, сочетающую строгие геометрические доказательства и чувственно-физиологические аспекты с метафизическими рассуждениями.

Оторвать историю развития оптического знания от общей канвы философской и научной мысли невозможно. Первая глава начинается с обзора интеллектуальных потерь и достижений Средневековья. В ней уделено

внимание античному наследию, доставшемуся западным и восточным христианским ученым, а также мусульманским мыслителям — представителям народов, окружавших Средиземноморье после падения Римской империи. Во второй главе рассматриваются особенности метафизики света и зрения; третья посвящена проблеме сохранения и передачи античных знаний в раннем Средневековье; в четвертой главе кратко обозначена роль Византии как преемницы римской культурно-образовательной традиции, а в пятой анализируются истоки схоластики, зародившейся в период так называемого Каролингского возрождения. Шестая глава обращена к достижениям арабской науки и техническим устройствам, седьмая возвращает нас в Европу эпохи расцвета готики, рождения университетов и возникновения науки *Перспективы*. Последняя, восьмая, глава первой части напомнит о черных страницах позднего Средневековья: инквизиции, эпидемиях чумы, расцвете магии и кризисе в отношениях науки и религии.

НАУКА И РЕЛИГИЯ В СРЕДНИЕ ВЕКА

И древний Рим исчез во мгле,
Свершалось предосуществленье
Всемирной власти на земле:
Орлиная разжалась лапа
И выпал мир. И принял Папа
Державу и престол воздвиг.

*Максимилиан Волошин.
Неопалимая купина*

История культурной жизни Средневековья долгое время была предметом рассмотрения исключительно в среде медиевистов. Они давно пришли к выводу, что рассматривать это время как регресс и забвение античной культуры неверно. Общество, создавшее рациональную социальную структуру: работающие (свободные труженики), воюющие (воины) и молящиеся (священники), нельзя считать «позором человечества» [43]. Излагающие историю Средних веков как историю невежества, репрессий и застоя забывают, что западная цивилизация в это время получила такие институты, как высшее образование, научная методология, гражданское право, общедоступные госпитали, библиотеки и многое другое [11].

Христианство, выросшее из небольшой иудейской секты на задворках Римской империи, в III в. становится в ней основной религией, а в конце IV в. — и государственной. В традиционном представлении историков XVIII–XX вв. христианство серьезно препятствовало распространению науки и загнало ее в тупик, откуда она не могла выйти более тысячи лет. Историческая правда, на взгляд многих, далеко не всегда клерикально настроенных ученых иная, более глубокая и интересная.

1.1. ГРАНИЦЫ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ, ЛЕГЕНДА О «ТЕМНЫХ ВЕКАХ»

Хронологические границы Средних веков весьма расплывчаты, поскольку средневековая культура развивалась и деградировала ступенями в разное время в разных регионах. Здесь неопределенность заложена по духу — долгое время сами историки не могли прийти к согласию о том, что означает выражение «Средние века». Но постепенно некоторая определенность наступила. За конец Античности и начало Средних веков можно принять V в.,

хотя многие готовы видеть их зарождение уже в III–IV вв. Если в IV в. на землях Италии «еще есть пестрота, но уже чувствуется двойная жизнь», то в V в. поздняя Античность, отмирая, «теряет жизненный тонус, переходит в новый быт, где Средневековье побеждает, где в хозяйстве, праве, языке, нравах, религии и мыслях новое выдвигается на первый план» [22]. Средневековье покрывает период от заката романской цивилизации на латинском Западе в IV в. до середины XV в., когда уже достаточно широко распространилось художественное и литературное возрождение, известное как Ренессанс. Весь средневековый период условно делится на части: раннее Средневековье (ок. 500–1000 гг.), переходный период (1000–1200 гг.) и высокое, или позднее, Средневековье (1200 — ок. 1450 гг.). Такое деление не совсем точно и не всеми принято, но для проводимого нами анализа достаточно. Если обратиться к характеристике каждой из частей, сопоставляя их со становлением и формированием Европы, то можно говорить о следующих этапах.

1. Период нашествий варваров на Римскую империю: IV–VII вв.

Первая волна нашествий относится к концу III в., однако важнейшим событием считают вторжение германцев в Италию и Галлию, а потом в Испанию и взятие Рима Аларихом в 410 г. Гунны продвинулись до самой Галлии, где в 451 г. их вождь Аттила был разбит римским полководцем Аэцием в битве на Каталаунских полях.

Движение варварских племен продолжается в течение V и VI вв., после того как с востока пришли вестготы и остготы, а через Рейн переправились свевы, вандалы и аланы. Бургунды, франки и аламанны продвигаются на юг и запад Галлии. К этому же времени относится поход ютов, англос и саксов через Северное море, ускоривший отток бриттов из Британии в Галлию. Большинство варварских племен уже обращено в христианство в его арианской форме. Для античной культуры это была катастрофа, но она сопровождалась развитием философской мысли основателей и Отцов Церкви и выработкой концепции науки как служанки теологии.

2. Первая попытка объединения Европы, каролингский пласт: VIII–X вв.

Казалось, VII в. принес некоторую стабильность, но в пустынях Аравии уже вызревает новая сила — ислам. Во втором десятилетии VIII в. арабы захватывают Испанию, в 732 г. Карл Мартелл останавливает их в битве при Пуатье. В этот период создается и исчезает империя Карла Великого и наблюдаются Каролингское и Оттоновское «возрождения». Заметно византийское влияние, оказанное в том числе через брак Оттона II и византийской принцессы Феофано. Считалось, что в это время происходило «повергание в прах древней культуры. При этом упускалось из виду, что прах этот не был развеян по ветру, а превратился в почвенный слой, питавший новую цивилизацию» [87]. Именно тогда зарождается и приобретает широту процесс сохранения и передачи знаний — *translatio studii*. Через упорный труд тысяч безымянных переписчиков, библиотекарей и монахов-учителей ростки грамотности и культуры прорастают в сотнях монастырских школ и разносятся в самые отдаленные уголки Европы.

3. Крестовые походы, формирование феодальной Европы: XI–XII вв.

Социальное брожение и религиозная пассионарность толкают сотни тысяч европейцев к смене образа жизни, к походам и паломничеству. Им от-

крывается новый мир, вчерашние враги — сарацины — зачастую становятся их учителями. После начала Реконквисты благодаря подъему переводческой активности возрастает влияние арабской науки, к тому времени уже преобразовавшей и прокомментировавшей греческую натурфилософию. Этот период ознаменован распространением схоластики — типа мышления и исследования, который вырос из христианизированных логики и диалектики и будет доминировать в интеллектуальной среде до эпохи Возрождения. Схоластика, рассматриваемая в контексте времени своего зарождения, сыграла положительную роль в образовательной деятельности, в оттачивании ее методологии и получении новых результатов и наблюдений. Развитие наук происходит под присмотром церкви и при доминировании теологии.

4. Рождение университетов, вершина средневековой философской мысли — XIII в.

Небывалый рост городского населения, установление и укрепление торговых связей внутри Европы и за ее пределами — вот основные итоги этого периода. Зарождаются цеха, гильдии и корпорации — не только ремесленные, торговые или политические, но и научные и образовательные. Школы выходят за границы монастырских стен, расширяется социальная база грамотности, образовательный статус не предусматривает обязательного монашества. Корпорации студентов и преподавателей образуют при поддержке церковных и гражданских властей универсальные объединения — университеты. Наблюдается триумф схоластики в науке и образовании, с одной стороны, и становление высокой готики в искусстве и архитектуре — с другой. Это высшая точка средневекового интеллектуального развития [39]. И в то же время происходят первые тектонические сдвиги в отношении науки и религии: декреты 1210 и 1277 гг., ограничивающие свободу преподавания в Парижском университете.

5. Политический и интеллектуальный кризис Европы, испытания XIV–XV вв.

На Европу обрушивается «бич Божий» — волны эпидемий чумы, выкашивающие до 70% населения некоторых регионов. На это накладывается череда неурожайных лет. Религиозные и территориальные войны раздирают континент, учащаются еврейские погромы, евреи массово изгоняются из целых стран. Начинается деятельность инквизиции с ее судами над колдунами и инакомыслящими. Это негативно сказывается на образовании и науке: процветают астрология, алхимия, магия, нумерология. В таком состоянии Европа вступает в эпоху Возрождения, когда мракобесие последних десятилетий вызывает волну антиклерикальных настроений, а на смену божественным приоритетам приходят общечеловеческие ценности. «Растворение себя в Боге» уступает место антропоцентризму.

Приведенная здесь краткая периодизация Средневековья составляет хронологическую канву для дальнейшего изложения истории развития средневековой науки вообще и оптического знания в частности. Долгое время существовал миф о «мрачном Средневековье», в который продолжают верить даже некоторые современные ученые. Они утверждают: «Восход католицизма стал началом „темных веков“, периода в истории Запада, когда свет знания угас и его сменила тьма суеверия. Этот период продолжался до тех пор, пока власть

Римско-католической церкви не была подорвана Реформацией». Люди верят, что Средние века были интеллектуальной и культурной пустыней [42]. Многие — за исключением специалистов по истории средневековой Европы — искренне убеждены в том, что эпохе Возрождения предшествовала тысяча лет невежества и подавления свободомыслия, когда в жизни не было места интеллектуальным спорам и дискуссиям, а научное сообщество (если вообще можно говорить о нем применительно к этим «темным векам») было загнано в предельно жесткие рамки. При этом, разумеется, большинство людей признает благотворное влияние церкви на музыку, изобразительное искусство и архитектуру. Но этим ее влияние отнюдь не ограничивается. Сегодня достижения высокого Средневековья общепризнанны, верхняя граница «темных веков» все больше уходит в прошлое: VIII–X вв. уже не считаются «темными» [287].

В то же время вряд ли есть сомнения, что VI–VII вв. с точки зрения развития науки, образования и литературы были временем культурного и интеллектуального регресса. Но главной причиной тому было не христианство, а варварство, не религия, а войны.

Нашествия разрушили и довели до бедственного состояния города, монастыри, библиотеки и школы, в результате чего вести образ жизни ученого или философа стало невозможно. Однако разрушений было бы больше, если бы церковь не пыталась поддерживать некое подобие порядка в условиях крушения цивилизации [11].

Поначалу христианство казалось апеллирующим только к бедным и малообразованным. Оно игнорировало богатых, в том числе и образованных. Но довольно скоро церковь осознала, что для чтения Библии необходимо знакомство с письменностью и литературой. На продолжительное время она стала «покровителем образования на латинском Западе и главным хранителем классической интеллектуальной традиции». Качество и уровень образования, а также интеллектуальные усилия начали рассматриваться Отцами Церкви как миссия истинных христиан. Правда, эти усилия не содержали глубоких научных идей и, безусловно, находились в русле примата теологии над философией.

Мнению о «темных веках» противоречат факты определяющего участия монахов и церковных иерархов в научном и технологическом прогрессе [24].

Речь идет, во-первых, о распространении грамотности и зарождении системы образования. К примеру, в уставе бенедиктинцев монаху, помимо постельных принадлежностей, платка и иглы, предписывалось иметь поясной нож, аспидную доску и грифель, причем с ними рекомендовались ему «любобные» отношения: «...точно подругу держи их при бедре». Вместе с правилом письменного служения этот параграф устава говорит об общей обязательной грамотности монахов. В ранней истории монастырей можно найти факт формального зарождения монастырских школ. Кроме того, монастыри стали собирать библиотеки и основывать скриптории для копирования рукописей.

Во-вторых, общеизвестны производственно-технологические достижения монастырей. Всякая бенедиктинская обитель служила для округа своего рода агрономическим училищем. Монахи расчищали пахотные земли, вырубали

леса, осушали болота. В Швецию они завезли рожь, в Парме завели сыроделие, в Ирландии стали разводить лосося, и почти всюду, где мог расти виноград, ввели виноделие. В Ломбардии именно монахи научили крестьян ирригационным приемам. Они же были первыми, кто занялся целенаправленным улучшением породы скота, — до них это дело оставляли на волю случая [371]. Члены ордена цистерцианцев прославились как искусные металлурги, а оставшийся шлак, содержащий много фосфатов, использовали как удобрение. «Какую сферу деятельности ни возьми — будь то солеварение, добыча меди, железа, квасцов, гипса, металлургия, мраморные разработки, изготовление ножей, стеклодувное производство, кузнечное дело, всюду монахи внесли творческий дух изобретательства» [203].

Два течения, различавшиеся по своему отношению к науке, боролись внутри христианской традиции. Некоторые столпы христианства рассматривали греческую философию исключительно как источник заблуждений. Карфагенянин Тертуллиан (155–230 гг.) обличал ее как порождение ересей и воевал против тех, кто старался основать христианскую доктрину на стоических или платонических материалах. У него было много последователей, однако более типичными стали взгляды Августина (354–430 гг.), выразившего двойственное отношение к греческой философии и науке. Натурфилософия, по мнению Блаженного Августина, должна быть служанкой религии — не для подавления, но для культивации, упорядочения и употребления.

Для развития научного знания раннего Средневековья большое значение имело интеллектуальное наследие, которое оставила ему поздняя Античность.

1.2. АНТИЧНОЕ НАСЛЕДИЕ — ТРИВИУМ И КВАДРИВИУМ

В культурном наследии, доставшемся Средневековью от Античности, можно выделить две основные составляющие: наследие Греции (наука, храмы, полисы) и наследие Рима (язык, архитектура, дороги). Средневековая Европа писала и говорила на латыни, а когда после X в. ее вытеснили «вульгарные» языки, прямыми наследниками стали языки романской группы (французский, итальянский, испанский и португальский). Остальные территории Европы тоже приобщались к латинской культуре: ее следы видны в университетах, в церковном обиходе, в теологии, в научном и философском лексиконе [43].

Римское образование начиналось как приватная инициатива, зависящая от желания родителей и возможностей учителя. Школы поддерживали разнообразную хозяйственную деятельность, арендовали дома, общественные здания и сооружения и даже проводили занятия на открытом воздухе. Со временем развилась система местной и государственной поддержки, были введены платные позиции для учителей не только во всех крупных городах Италии, но и в провинциях — в Испании, Галлии и Северной Африке. Такие позиции предоставлялись преподавателям грамматики и риторики и по возможности философам. Рим периода расцвета мог похвастаться такой системой образования, которая давала широкие образовательные возможности представителям высшего класса по всей империи [51].

У рациональных римлян к III в. до н. э. была разработана трехступенчатая система школ: начальная (школа литератора), средняя (школа грамматика) и риторическая школа. Римское образование было более регламентированным и прагматичным, чем греческое. По мере того как преподавание наследия античной культуры сокращалось, появлялись *свободные искусства* — соединение всего светского, языческого. Впоследствии они стали рассматриваться как ступень на пути христианского богопознания. «Свободными» их первым назвал Цицерон в трактате «Об обязанностях», разбирая вопрос, что достойно, а что недостойно свободного человека. Медицина и архитектура были отнесены к приземленным *ремеслам*, в отличие от прочих наук, ведущих к нравственно прекрасному [99].

Натурфилософии и математическим наукам в позднеантичных школах уделялось ограниченное внимание — они лишь включались как примеры в грамматическое или риторическое образование. Несколько большее значение эти вопросы имели в философском образовании. Хотя редко инструкции



Рис. 1.1
Иллюстрация к работе
Марциана Капеллы
«Свадьба Филологии и Меркурия», X в.
(из собрания Национальной библиотеки
Франции, Latin 7900 A, fol. 132 v.)

такого рода превосходили уровень изложения римского христианского ритора V в. Марциана Капеллы в его «Свадьбе Филологии и Меркурия» (рис. 1.1). Поэтому вершины математических и физических изысканий Архимеда, Евклида, Птолемея или Аристотеля (в отличие от общефилософских, логических и этических трудов) оставались для римлян недоступными.

От Античности были восприняты и переработаны христианской мыслью научные классификации и методы преподавания. Структура свободных искусств в переложении Капеллы стала столпом средневекового образования. Семь свободных искусств разделялись на два цикла: *тривиум*, или искусства речи (гуманитарное трехпутье: грамматика, риторика, диалектика), и *квадривиум*, или искусства чисел (четырепутье математических наук: арифметика, геометрия, музыка, астрономия) [25]. Предписанные Блаженным Августином свободные искусства станут в XII–XIII вв. основой университетского образования на подготовительном факультете, называемом факультетом искусств (см. цв. вкл., ил. 1).

Аристотель первым классифицировал научное знание и определил его познавательный и социальный статус. Разделив науки на теоретические, практические и продуктивные, он объединил все три формы понятием «фи-

зика», так как они были направлены на познание физического (вещного) мира. Все, что находится над физикой, изучается сверхнаукой метафизикой, или первой философией (позже — теологией) [102]. Зарождение этих наук происходило в Элладе в VII–IV вв. до н. э. усилиями пифагорейцев и софистов. В IV в. до н. э. в Афинах сложились семь свободных искусств и выделялись архитектура, медицина, оптика, механика, геодезия, минералогия и некоторые другие *техне*. Греческие школы не столько стремились научить этим наукам, сколько «учили жить, как подобает философу». В эллинистическую эпоху образование имело эстетическую направленность. Школа работала там, где в данный момент находился учитель [99].

Римский период математики характеризуется прекращением самостоятельных исследований, составлением компендиумов, схолий, сводов и учебников. Авторские работы связаны лишь с именами Птолемея и Диофанта. Зверское убийство христианами женщины-математика Ипатии в 415 г. считается символической датой заката александрийской математики. К тому моменту состояние математики было удручающим. Развивались лишь «практические» науки — механика, архитектура и музыка, а квадривиум превратился в школьный предмет, не содержащий даже десятой части сделанных открытий.

На латинском языке имелось «Введение в арифметику» Никомаха в переводе Апулея.

С геометрией римлян познакомил Варрон, кроме того, значительным было влияние геометрических трудов Никомаха.

В целом же картина складывается печальная: у Боэция и Исидора изложение геометрии среди прочих дисциплин квадривиума выглядит наиболее жалким и содержит ошибки.

Вклад в теорию музыки внесли Эратосфен, Птолемей, Плутарх и все тот же Никомах («Руководство по гармонике»). Римляне не развивали математическую часть музыки, зато усовершенствовали многие музыкальные инструменты. В дальнейшем развитие музыки как естественной науки со своим математическим аппаратом (в отличие от астрономии) прекратилось, поскольку первая оказалась в гораздо более сильной зависимости от эстетического восприятия, чем это предполагалось изначально [97].

В III–VI вв. астрономия сделала шаг назад. Победа христианского мировоззрения привела к частичному восстановлению древнеавилонских представлений, так как, заимствованные евреями, они попали в Ветхий Завет. Ретроградной ревизии подверглись немногие разделы астрономии, противоречившие словам ветхозаветных пророков. Латинские сочинения по астрономии были многочисленны, но поверхностны. В Риме начала победное шествие астрология, о которой писали десятки авторов, включая императоров. Все это собрание разнородных сведений входило в программу риторского образования, поэтому уровень астрономических знаний образованного римлянина был гораздо выше, чем уровень знаний по арифметике и геометрии [150].

Античная оптика возникла внутри аристотелевской физики на базе геометрии, астрономии и частично медицины. Наивысшими ее достижениями следует считать открытие законов зеркальных отражений Фалесом, Архимедом, Евклидом и Героном, диоптрийные исследования Птолемея, начала

атмосферной и физиологической оптики, заложенные соответственно Аристотелем и Галеном.

Впечатляющими были рассуждения Диокла о форме зажигательных зеркал, концепция Евклида о зрительных углах, гипотезы целой плеяды философов — от Эмпедокла до Эпикура — о механизмах зрения. Обзор этих теорий привел в своих доксографических¹ сочинениях Теофраст, ученик и продолжатель дела Аристотеля. В силу исторических обстоятельств средневековый читатель смог познакомиться с большинством из этих работ лишь в XIII в., и то в двойном переводе: с греческого на арабский и потом на латынь. Поэтому не вызывает удивления, что «физическая» часть латинской *Перспективы* оказалась разработанной хуже ее метафизической составляющей.

1.3. КРИЗИС АНТИЧНОЙ НАУКИ, НЕОПЛАТОНИЗМ

В последние века Античности владыка мира Рим привлекает к себе выдающиеся умы. Афинские школы (рис. 1.2), Александрийская академия еще существуют, но прежний дух в них угас, они прозябают, лишены творческой силы. Однако Рим — не место для мирных ученых, и у римлян нет склонности растить «скромное древо познания природы» [66]. Уже не достигая глубины, множатся обобщающие трактаты с названием «О природе вещей». Оно закрепилось за сочинениями такого рода в I в. н. э., начиная с грамматика Проба и поэта Лукреция. Лукреций продолжил традицию философских поисков первоначала вещей, определяющих сущность природы, излагая единую концепцию природы и знаний естественнонаучного характера [87]. То же название позднее использовал энциклопедист Средневековья Исидор Севильский.

В системе римского мышления сформировалась самостоятельная ветвь, названная Сенекой *philosophia naturalis* (натуральная философия, или проще — натурфилософия). В стоицизме она была оттеснена на периферию морально-этической проблематикой, но не забыта. Эпикурец Лукреций и стоик Лукиан были любимыми авторами энциклопедистов. Источниками знаний о природе являлись астрономические, географические и другие трактаты, схолии, компендиумы и брeвиарии. В последние века Римской империи их число росло, пропедевтика² господствовала над размышлением.

В поздней Античности закладывались семена размежевания религии, философии и науки. Афины утрачивали роль научного центра, переходившую к Александрии. Сужался объем философских задач, развивалась этика, через призму которой и рассматривались научные вопросы. Интерес к теории, выяснению картины мира, физике и астрономии падал.

Кризис античного общества породил скептицизм, по линии Платона — учение стоиков, по линии Демокрита — эпикурейцев. На фоне ослабленной, затухающей духовности античного мира и зарождающейся духовности христианства возник неоплатонизм. Его творцы — Плотин, Порфирий, Ямвлих,

¹ Доксография — описание взглядов каких-либо ученых, философов (часто в терминах другой философской системы).

² Введение в какую-либо науку, предварительный, вводный курс, систематически изложенный в сжатой и элементарной форме.

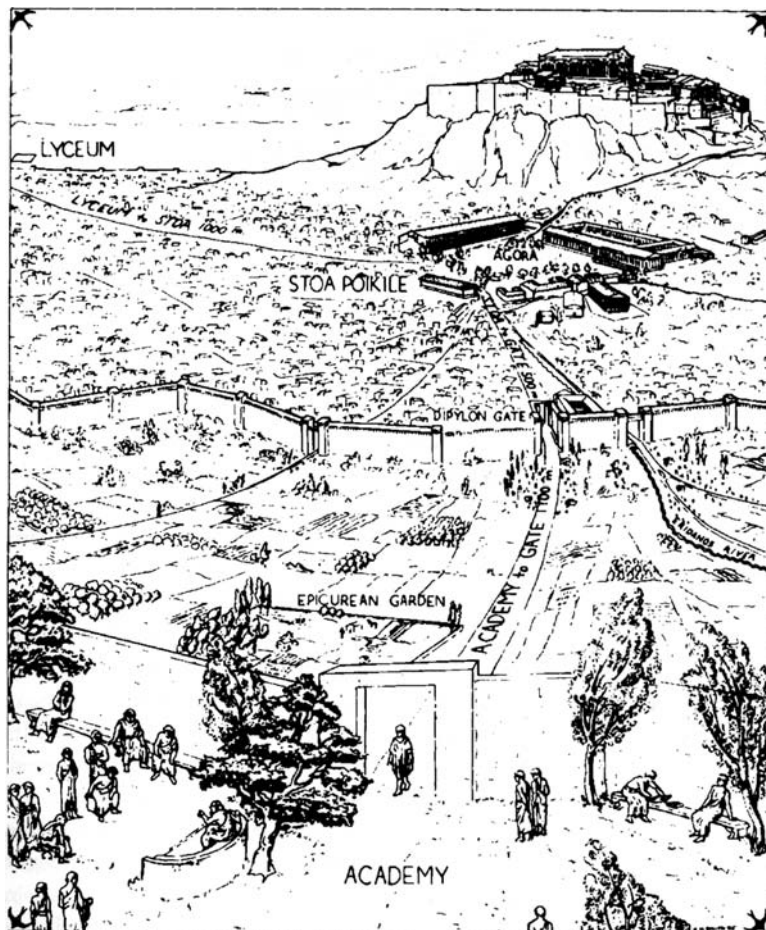


Рис. 1.2
 Античные школы в Афинах:
 Академия, Ликей, Стоя и сад Эпикура [340]

Прокл — считали, что поднять людей над миром вещей должны посвященные, созерцающие интеллектуальной интуицией Единое и способные оставаться в лучах его света [102]. Неоплатонизм — философская система, в кардинальных вопросах имевшая точки соприкосновения с христианством.

Культура поздней Античности, с одной стороны, достигла предельной рафинированности, с другой — упростилась, приспособиваясь к потребностям меняющегося общества. Эта тенденция проявилась в образовании, ставшем более примитивным и утилитарным [226]. Александрийский неоплатонизм (Аммоний Саккас, Плотин) прославился логическими, математическими и естественнонаучными штудиями и отличался привязанностью к диалектике Аристотеля. Из лона афинской школы, руководимой последним великим мыслителем Античности неоплатоником Проклом (ок. 410–485 гг.), вышли списки сочинений Аристотеля, которыми пользовались энциклопедисты Средних веков.



Плотинское учение об эманации (излучении, исхождении) из духовного первоначала стало зародышем средневековых световых аллегорий. Эманация — вневременное истечение субстанции Первоединого с порождением второй ипостаси (Ума) — истолковывалась как единосущное порождение ипостасью Бога Отца ипостаси Бога Сына. Аналогично трактовалось исхождение Святого Духа как истечение Божественной сущности Отца и Сына через посредство Сына [47]. На этой почве, удобренной христианскими идеями, произрастет древо метафизики света. Плотин приводит такую иллюстрацию миротворения: переизбыток бытия распространяется вокруг единого Бога, как свет вокруг негасимого источника [7].

Неоплатоники рассматривали познание с помощью внешних чувств как актуализацию потенциалов души — изначально присущих ей логосов всех вещей, — происходящую по причине обращения души к телесному миру и по поводу появления в ее поле зрения тех или иных предметов. Они отвергали теорию рефлексии, делавшую познающий субъект пассивным восприимчиком информации, исходящей от тел [47].

Проповедуемая неоплатониками активность зрительной способности находилась в русле экстрамиссионных теорий зрения, которые поддерживались и развивались Эмпедоклом, Евклидом, Платоном, Птолемеем и другими учеными [76]. Благодаря близости христианской и неоплатонической концепций, представления о зрительных истечениях (эманациях зрительной пневмы) без особых изменений просуществовали в Европе до XIII в.

ДВА МЕТОДА ПОЗНАНИЯ. МЕТАФИЗИКА СВЕТА И ЗРЕНИЯ

Что такое Время?
Когда меня спрашивают о нем,
я знаю, о чем идет речь.
Но стоит мне начать объяснять,
я не знаю, что сказать!

Блаженный Августин

Начало христианского переосмысления античного натурфилософского наследия связывают с трудами «основоположников Средневековья» — плеяды мыслителей, начиная от святых апостолов и евангелистов и заканчивая канонизированными Отцами и Учителями ранней христианской церкви. Поэтому период, приходящийся на их деятельность (II–IV вв.), получил наименование эпохи апологетики и патристики [299]. Тогда была выполнена важная для Средневековья задача — «философизация теологии и теологизация философии» [47].

В раннем Средневековье в Восточной и Западной Европе авторитет Отцов Церкви был непреерекаем. Особенностью интеллектуального развития становилась степень подобия собственного мнения мнению этих авторитетов. Она являлась для философа мерилom истинности его высказываний. Любая форма новаторства считалась признаком суетной гордыни, отступлением от архетипа, а значит, от истины. Понятия плагиата не существовало и не могло существовать. Творческий метод философа, как и метод художника той поры, можно назвать иконографическим. Поэтому авторы нередко с легкостью приписывали свои сочинения более крупным авторитетам.

2.1. СПОРЫ АПОЛОГЕТОВ С ЯЗЫЧНИКАМИ

Отношение христианства к переданному Античностью классическому наследию есть сложная и комплексная проблема. Были лидеры церкви, озлобленные языческим содержанием классической традиции и рассматривавшие школы как рассадники опасности. Изучавшаяся в школах литература часто была политеистической, а значит, по христианским стандартам, аморальной. Она не имела такого дидактического качества, как псалмы или Нагорная проповедь. Апологеты полагали, что суетное мирское знание, которым гордился греческий и римский мир, не могло иметь в глазах христиан никакой ценности [87]. Их мнение поддерживалось цитатами из евангелий и посланий апостолов: «Блаженны нищие духом, ибо их есть Царство Небесное» (Мф. 5: 3); «Смотрите, братия, чтобы кто не увлек вас философиюю

и пустым обольщением, по преданию человеческому, по стихиям мира, а не по Христу» (Жол. 2: 8).

Ассириец Татиан (ок. 120 — ок. 173 гг.) в «Речи против эллинов» критиковал эллинскую философию, искусство и науку, призывая «истреблять памятники бесчестия». Тертуллиан считал христианскую и языческую мудрости непримиримыми: «Да запомнят все, кто хотел сделать христианство и стоическим, и платоническим, и диалектическим. В любознательности нам нет нужды после Иисуса Христа, а в искании истины — после Евангелия» [102].

Призыв крушить языческих идолов находил благоприятный отклик у невежественной толпы, которая еще вчера требовала у языческих императоров гладиаторских боев [99].

К периоду патристики относят сочинение «О ложной мудрости», в котором его автор — Фирмиан Лактанций (ок. 250 — после 325 гг.), ритор, обращенный в христианство, — доказывал ничтожество натурфилософии: всякое человеческое знание сомнительно и противоречиво; к истинному познанию мы приходим только при посредстве Откровения. «Укреплены ли неподвижные звезды на небосводе или свободно носятся в воздухе, какую форму и состав имеет небо, находится ли оно в движении или покое, как велика Земля и каким образом взвешена или поддерживается в равновесии, — все это вопросы, исследование и оспаривание которых подобно пререканиям о каком-либо городе в отдаленной местности, знакомом спорящим лишь по имени». И далее: «Могут ли люди быть настолько безрассудными, чтобы верить, будто на противоположной стороне злаки и деревья растут вершинами вниз, а у людей ноги находятся выше головы?» [66]. Остроту полемике придавало негативное отношение языческой элиты к христианству. Его демонстрировали Тацит («христиане — отребье человеческого рода»), Плиний Младший («христиане суеверны, грубы и упорны») и Марк Аврелий, подчеркивавший театральность энтузиазма христиан. Философ Цельс написал пасквиль на христиан «Правдивое слово», а ученик Плотина Порфирий — трактат «Пятнадцать слов против христиан».

Содержательнее была полемика язычника Цецилия и христианина Минуция. Первый писал: «Некоторые, не имея ни образования, ни даже какого бы то ни было понятия о науках и искусствах, с уверенностью судят о начале и устройстве мира, берутся решать такие вопросы, которые и философия, обладая огромным числом школ, до сих пор не смогла разрешить... Христиане утверждают, что мир творится и управляется справедливым Богом. Но опыт показывает, что мир управляется, скорее, слепыми и безличными силами, для которых не существует ни добра, ни зла». Минуций, критикуя Цецилия, защищал Откровение как первооснову истинного знания, доказывал невозможность чувственного познания мира. Он использовал знакомую световую символику: «Если мы не можем смотреть на солнце, то как можем мы смотреть на создателя солнца, на самый источник света? Бога нельзя видеть, он слишком блестящ для наших глаз» [47]. Перед нами второе звено в единой средневековой цепи метафизики света и зрения: от неоплатоников ее переняли Отцы Церкви. Вершиной станет учение Блаженного Августина, аргументацию которого на новом этапе воспримут Гроссетест и Бэкон.

Большинство Отцов ранней церкви получили классическое образование и, сознавая его недостаточность, понимали, что жизнеспособной альтернативы ему нет. Поэтому, вместо того чтобы отречься от классической школьной культуры, они предприняли попытки ее адаптировать. Значительное число христиан посылало своих детей в римские школы. Объединить античную философию и христианские ценности первыми попытались гностики [102]. Различные отрасли античного знания оказывались востребованными в неравной степени. В условиях, когда образованных и просто грамотных людей становилось все меньше, а церковь должна была спланировать вокруг себя огромные неграмотные полиэтнические массы, действенность античной риторической культуры была ограниченной. Блаженный Августин писал об этом: «Кто нуждается в безупречности языка, если слушающие его не способны понять смысл слов?» [87].

Еще хуже вписывались в концепцию христианского образования естественные науки. Но и они оказались частично востребованными, особенно восточной ветвью христианства, избежавшей конфликта с греко-римской Античностью. Отчасти это объяснялось своеобразной лингвистической эстафетой: латинский мир вынужден был искать новую форму философского самовыражения, в то время как греческое православие продолжало использовать истинный язык античной науки.

2.2. ОТНОШЕНИЕ ХРИСТИАНСТВА К НАУКЕ

Преобладающей тональностью ранней апологетики были нападки и осуждение языческой культуры. Самый яркий пример — Тертуллиан, который жил при Септимии Севере и принял христианство уже взрослым. В то время как христианская религия становилась социально значимой силой, запальчивый Тертуллиан заявлял, что лишь свободный от науки человек может стать настоящим христианином. Но, нападая на античную культуру, он во многом пользовался ее методами. Эта позиция находила едва ли не больше сторонников, чем умеренная позиция Юстиниана и его последователей [32]. Вот лишь несколько из знаменитых обскурантистских формул Тертуллиана: «В отношении правила веры не знать ничего — это значит знать все... Христос избрал для своей проповеди не софистов и философов, а простых рыбаков... Те, кто не умудрен и прост, больше годны для обращения, чем те, кто побывал в школах и библиотеках... Что общего у Афин и Иерусалима, у Академии и Церкви?» Тертуллиан назвал лагерь дьявола *speculum* (зеркало, подобие), в отличие от лагеря Бога — *ecclesia* (церковь, собрание).

Через сто лет после Тертуллиана творили христианские мыслители Арнобий и Лактанций, которого называли христианским Цицероном. Лактанций высоко оценивал образованный разум, относя к его компетенции все, что не находится в исключительном ведении Писания. Противопоставляя тело и душу, Лактанций считал душу материальной, хотя и состоящей из более тонкой материи, чем тело. Душа, по Лактанцию, имеет световидную (огневидную) природу, столь легкую и прозрачную, что может быть названа бестелесной. Бессмертные души должны следовать из особого статуса человека в мире: только он умеет пользоваться огнем — этой небесной стихией. Огонь

есть стихия жизни (душа-жизнь огневидна — мнение стойков), и владеющий этой стихией должен быть бессмертным [47].

Арнобий (ум. 327 г.) успел насладиться официальным признанием христианства и, хотя и говорил о том, что «мудрость человеческая есть глупость перед Богом», не отметал разум. По Арнобию, разум является ненадежным проводником, но если человека ничему не учить, душа останется подобной чистому листу. В познании и воспитании, руководимых верой, есть польза. Осуждая языческую мудрость, он следует ее великим образцам, старается создать некий философско-христианский синтез, в чем предвосхищает Августина. Идея соединения языческой образованности и христианской культуры пронизывает труды другого апологета — Минуция Феликса, но и Тертуллианова непримиримость тоже обретает своего последователя — Фирмика Матерна, требовавшего уничтожить языческие культы и культуру.

2.3. ВОСТОЧНАЯ ПАТРИСТИКА, МЕТАФИЗИКА СВЕТА

Центром эллинистической образованности того времени была Александрия — город с крупной иудейской диаспорой, место создания Септуагинты, древнейшего перевода Ветхого Завета на греческий язык, выполненного в III–II вв. до н. э. Представитель диаспоры мыслитель Филон Александрийский (ок. 25 г. до н. э. — ок. 50 г. н. э.) признавал, что совершенствование разума, приобщение к наукам и философии являются предварительными условиями толкования духовных текстов. Как свободные науки (грамматика, риторика, диалектика, геометрия, арифметика, музыка и астрономия) служат приготовлением к философии, так философия готовит ум к теологической мудрости, к уяснению духовного смысла Откровения. Основатель александрийской школы катехизаторов Климент (ок. 150–215 гг.) считал философию и научное знание способами доказательства положений веры; он назвал свой труд «Увещание к эллинам» (ср.: резкое Татианово «против эллинов»!). Климент оставил рассуждения о достоинстве философии и вслед за гностиками объявил о превосходстве знания над слепой, непросвещенной верой. С другой стороны, вслед за Филоном Александрийским он подчинил философию теологии, предвосхитив тезис «философия — служанка теологии». Относительная ценность других наук зависит от отношения к теологии: философия непосредственно подготавливает к теологии и служит для доказательства ее утверждений, поэтому она служанка теологии, но она же есть госпожа других, низших наук, таких как геометрия, астрономия, музыка, которые выступают как средства восхождения к философии и являются ее служанками. Эта сословно-феодалная субординация наук по принципу «сеньор — вассал — вассал вассала» служила в Средние века моделью для всей системы схоластического образования.

Его линию на непротиворечие христианству науки и философии продолжил Ориген (ок. 185–253 гг., рис. 2.1), насытив учебные планы восточной школы диалектикой — методом развития логического мышления, а также физикой, геометрией и астрономией, в которых видел основы естественных наук [109].

Восточная христианская патристика фактически создала христианскую философию и науку IV в. (Василий Великий, Григорий Богослов, Григорий Нисский, Афанасий Великий). Никто из этих православных мыслителей не выступал против союза религии с философией и наукой; напротив, они подчеркивали необходимость такого союза: «Не должно унижать ученость!» (Григорий Богослов) [103]. Восточнохристианская онтология³ того периода была непредставима вне связи с новозаветным учением Евангелия от Иоанна: «В начале было Слово, и Слово было у Бога, и Слово было Бог» (1: 1); «В Нем была жизнь, и жизнь была свет человеков» (1: 4); «Был Свет истинный, который просвещает всякого человека, приходящего в мир» (1: 9). Творческий Логос и просвещающий Свет были однозначно отождествлены с воплотившимся Богом, Мессией-Христом.

Отцы восточной церкви добавляли к античному рациональному Логосу и умственному свету элементы, выходящие за пределы человеческого сознания. Логос-Свет выступил в их сочинениях посредником между непостижимым и постижимым, миром Божественным и миром тварным (сотворенным Богом) [47]. Это учение развивалось в рамках греческой апологетики Юстинианом, утверждавшим, что, рождая Слово-Логос, Бог ничего не утрачивает из своего бытия, ибо «слово не уменьшается в нас, когда мы его произносим». Рождение Логоса от Бога подобно передаче света от одного факела другому. Это позволяет считать позицию Юстиниана ортодоксальной с точки зрения Никейского символа веры («Свет от Света»). Эта аналогия — огонь, передаваемый от одного факела другим, — пример, типичный для Античности и восходящий к эстафетам панэллинских игр, который приводился в ответ на возражения ариан. Новый огонь есть лишь обособленный старый; до своего обособления он также существует в тождестве со старым. Рождение огня от огня есть индивидуализация того, что изначально содержится в рождающемся и однородно с ним. Отсюда восточными апологетами выводилась возможность единоначалия предвечного, не рожденного Бога Отца и рожденного им Бога Сына.

Значительный вклад в метафизическую оптику был сделан Василием Великим. Он утверждал, что мир временных чувственных вещей ограничен небесной твердью (*первым небом*), за которой простирается вневременное сотворенное *второе небо*. Между ними сосредоточены материальные, но невидимые и лишь умопостигаемые существа. Это область вневременного материального света, из которого состоят тела ангелов и праведных душ. Умопостигаемый невидимый свет есть образ и отражение вечного и непостижимого света Божественного и прообраз чувственного света земного. Через



Рис. 2.1
 Портрет Оригена, основателя
 библейской филологии
 (работа неизвестного
 художника, XVI в.)

³ Учение о бытии, в отличие от гносеологии — учения о познании.

посредство этого срединного света осуществляется просвещение человека. Это все та же плотиновская форма отношения между градациями сущего: прообраза и образа, света и отражения [108].

По Григорию Богослову, свет, изливающийся от Единого, есть свет изнутри мира, свет потусторонний, как «точка над плоскостью круга». Природа души — это умственный свет, свет познания. Поэтому, достигнув второго неба, душа обретает адекватную себе стихию. Она стремится на *третье небо*, в сферу сверхразумного Божественного, к источнику интеллигибельного (умопознаваемого) света. При приближении к нему свет становится таким ярким, что более не просветляет, а ослепляет, становится мраком для души, и она оказывается перед пропастью [47].

Восточная христианская мысль сохранит характерный для каппадокийцев интерес к проблеме образа и символа. Этот интерес станет чуть ли не основным в период иконоборческого движения и ляжет в основу метафизического учения о механизмах и функциях зрения — физического или духовного, об их активности или пассивности, наконец, о роли чувственного зрения в познании физического мира и значении сверхчувственного прозрения в овладении высшими истинами.

2.4. ЗАПАДНАЯ ПАТРИСТИКА, МЕТАФИЗИКА ЗРЕНИЯ

Успех так называемого Медиоланского кружка был подготовлен деятельностью римского ритора и сенатора, впоследствии христианского теолога Гая Мария Викторина (ок. 290 — после 363 гг.). Он был в большей степени философом, нежели политическим деятелем, прекрасно знал древнюю философию, перевел на латынь сочинения неоплатоников и пытался соединять разум и веру. Реально в нем теолог подчас уступал философу [87].



Викторин родился в Северной Африке. В начале 340-х гг. переселился в Италию, сначала в Медиолан (древнее название Милана), затем в Рим, где открыл свою школу преподавания риторики и других свободных искусств, которую посещала аристократическая молодежь Рима. Стал знаменитым, перевел и прокомментировал труды Аристотеля, Плотина и Порфирия, способствовал распространению неоплатонизма, в 354 г. удостоился статуи на римском форуме. Тогда он был ревностным язычником и оспаривал христианские истины. Позже изучил Писание, нашел близость неоплатонизма с христианством и в преклонном возрасте крестился [96].

Викторин разъяснял соотношение между Отцом и Сыном на примере зрительного восприятия, заимствованном у Плотина. В самом деле, Сын, будучи Божьей силой и Премудростью, рождается от Отца «подобно тому, как зрительная способность имеет в себе зрение. Последнее тогда обретает внешнее существование, когда зрительная способность приходит в действие. Так от зрительной способности рождается зрение, которое само есть единое... и способность пребывает в покое, а деятельность в движении» [32].

Отец церкви Иероним (340–420 гг.) был «мужем трех языков» (рис. 2.2). Он не сумел преодолеть в себе поклонника языческих авторов, приходя к выводам, подчас парадоксальным для ревностного христианина. Не удовле-

творенный существующим переводом Библии (Итала), он сделал новый перевод Ветхого Завета, исправил перевод Нового Завета и других канонических текстов. Иероним переводил на латынь Библию с древнееврейского, а не с несовершенной греческой Септуагинты. Перевод Иеронима использовался во всей Европе, перерабатывался и был доведен через алкуиновскую Библию IX в. до Вульгаты, созданной в XIII в. в Парижском университете [42]. Иероним разошелся с папой Григорием Великим в оценках античного наследия, став сторонником его использования для нужд христианства. Живший на границе между Западом и Востоком в Северной Африке, Иероним стал первым в истории христианства человеком, посвятившим себя научной и литературной деятельности. Когда вестготы Алариха разграбили Рим, потрясенный св. Иероним со скорбью писал: «Ужасная весть приходит с Запада. Рим в осаде, жизнь граждан выкупается за золото. Потом ограбленных снова хватают, чтобы отнять у них жизнь. Голос застрекает в гортани, рыдания прерывают слова. Взят город, который владел всем миром».

Вот как характеризовал св. Иеронима христианский писатель Ориген: «Не могу умолчать о его бессмертном гении. Он так освоил диалектику и геометрию, арифметику, музыку, грамматику и риторику, равно как и науки всех философских школ, что сумел привлечь учеников, жаждавших изучать мирские науки под его руководством. Эти предметы он ежедневно излагал толпам сбегавшихся отовсюду слушателей» [36]. При всем уважении к Иерониму приходится признать, что процитированные слова не столько возвышают его талант, сколько указывают на падение уровня преподавания упомянутых Оригеном дисциплин в раннем Средневековье по сравнению с эпохой эллинизма.

Блестящий проповедник западного мира IV–V вв. Амвросий Медиоланский хотя и выступал против язычества, все же проявлял интерес к некоторым сторонам античного знания, поставив своей целью сближение латинского и греческого элементов в христианстве. Пасторская и проповедническая деятельность Амвросия проходила в условиях борьбы правоверия с арианством, свившим себе гнездо в Северной Италии, где находилась столица империи и где он жил. Решительный отпор ариане получили только на востоке от каппадокийцев, поэтому лидер западной ортодоксии пошел на выучку к грекам, сделавшись их подражателем в доктринальных вопросах. Его почти не интересовала онтологическая тематика: теология и метафизика оттеснены в его сочинениях морализаторством. Среди слушателей его проповедей был крупнейший представитель патристики — Аврелий Августин [103].



Рис. 2.2
Св. Иероним.
Картина Яна ван Эйка
и Петруса Крестуса, ок. 1430 г.
(Художественный музей,
Детройт)

2.5. БЛАЖЕННЫЙ АВГУСТИН, МЕТАФИЗИКА СВЕТА И ЗРЕНИЯ

Важнейшей фигурой раннего Средневековья был святой Августин (в православной традиции — Блаженный Августин), пытавшийся найти баланс между свободой воли и благодатью, привить властям моральные и религиозные ценности, сохраняя при этом разграничение между Богом и кесарем (рис. 2.3). Он занял некую промежуточную позицию — формулу Тертуллиана «верю, потому что абсурдно» заменил на тезис «верю, чтобы понимать». Блаженный Августин ценил роль науки в познании Божественных истин, но его взгляды не были решающими в западной цивилизации. Считается, что он был одним из предтеч средневековой схоластики.



Аврелий Августин родился в Тагасте (территория нынешнего Алжира). Образование получил на родине, окончив риторскую школу в Карфагене. С 375 г. преподавал грамматику и риторику в Карфагене и Милане. В 387 г. принял крещение, вернулся на родину, распродал все свое имущество и организовал небольшую общину монастырского типа. С 396 г. — епископ Гиппона.

В юности Августин отдал дань скептицизму, манихейству и неоплатонизму. В платоновском Демииурге он находил аналогии с христианским Логосом. Перед крещением написал несколько диалогов («Против академиков» и др.) не столько против реальных противников, сколько для увещевания самого себя. Но до конца отрешиться от своего прошлого не смог, даже став епископом [87].

Августину удалось решить важную историческую задачу синтеза античной культуры и христианства. Базой для изучения христианской литературы он считал школьные занятия, ибо грамматика, риторика, диалектика, математические науки и история могут и должны не уводить от познания Священного Писания, но, напротив, подводить к нему; языческое образова-



Рис. 2.3
Св. Августин в Риме.
Роспись Беночцо Гоццоли, 1464–1465 гг.
(церковь Сант-Агостино, Сан-Джаминьяно)

ние не должно рассматриваться как самоцель. Августин был образованным человеком: у него обнаруживаются не только блестящие риторические навыки, но и понимание философии язычников, знание математических и естественных наук, осведомленность в классической литературе. В работе «О христианской науке» он определил образовательный минимум христианского ученого, оценивая науку в терминах своей теории, отражающей средства и цели: наука не должна быть самоцелью, ее первейшая задача — служить инструментом распространения и укрепления христианской веры. Должна быть отброшена астрология, называющая себя математикой. К бесполезным занятиям были отнесены театр, поэзия и изобразительное искусство (если они не имеют развлекательного назначения). К полезным наукам Августин относил историю, медицину, земледелие, биологию, астрономию. Говорил и о полезности наук умозрительных — логики и математики, а также (с осторожностью) — о диалектике и риторике [47].

Августин выражал двойственное отношение к греческой философии и науке, в которых присутствовали элементы ереси, но которые были достойны защиты как лучший, если не единственный, путь к познанию натурального мира. Он призывал читателей открывать свои сердца небесному и вечному, а не земному и преходящему. По его мнению, философия должна быть «служанкой религии для культивации, дисциплинирования и употребления». Он написал ряд сочинений, посвященных свободным искусствам и задачам учителя, считал, что «изучение свободных наук, если не превышает известных пределов, сообщает разуму больше живости, легкости и подвижности, силы для постижения истины, побуждает с жаром и с большей любовью стремиться к ней». Неслучайно на многих полотнах Августин изображен с научными инструментами и трактатами (рис. 2.4).

Блаженный Августин сыграл важную роль в развитии средневекового образования, культуры и признания примата веры над разумом. Его трактаты полны высказываний в стиле метафизики света: «Бог — умный свет, в котором, от которого и через который разумно сияет все, что сияет разумом». С его легкой руки мы до сих пор говорим о *свете знаний* и о *свете* в смысле окружающего мира. В пику Тертуллиану он ввел в употребление понятие «светский» не в уничижительном, а в толерантном смысле. В конце жизни его позиция стала жестче — в автобиографической «Исповеди» он сравнивал обучение светским наукам с опьянением. Его познавательный оптимизм был весьма ограничен [87].

«Исповедь», посвященная становлению личности в то время, отличается глубоким психологическим анализом. В сочинении «О граде Божием» Августин противопоставляет государству (*земному граду*) мистически понимаемый *Божий град* — церковь. Он оставил богатое теологическое наследие, проповедуя различия между «Божественным



Рис. 2.4
Св. Августин.
Фреска Сандро Боттичелли,
1480 г.
(церковь Оньиссанти, Флоренция)

светом и светом материальным, видимым глазом». Августин преодолел наивный натурализм манихеев, проявившийся в «отождествлении Бога-добра со светом», но вряд ли можно считать световую символику в его рассуждениях о Боге данью только неоплатоникам и четвертому Евангелию.

В пристрастии Августина к *световой* и зрительной символике дает о себе знать его манихейское прошлое. Через много лет после выхода из секты он писал: «Те против вас свирепствуют, кто не понимает, с каким трудом приспособливается взор внутреннего человека к тому, чтобы видеть свое солнце — не то небесное тело, которое вы почитаете, но то, о котором в Евангелии сказано: „Был Свет истинный, который просвещает всякого человека, приходящего в мир“».

Божественный разум наполняет светом разум человеческий, который от этого делается способным судить истинно. Сам *Божественный свет* есть мрак для человеческой души; чем ближе к этому свету, тем больше он ослепляет [108].

Августин боролся против скептиков, отстаивал достоверность истин диалектики (в то время — логики) и математики. То, что нам видится, видится нам именно таким по причинам, не зависящим от нашего произвола, то есть в том или ином смысле объективным; любое чувственное впечатление имеет свое основание в реальности: либо основание своего происхождения, либо реальный прототип своего образа, либо и то и другое. Приведем редкий в философских трудах случай обращения к оптической рефракции (в данном случае — к видимому глазом искривлению весла, погруженного в воду, о котором писал еще Лукреций в своей поэме «О природе вещей» [76]). Августин пишет: «Я не знаю ничего, за что бы мог упрекнуть чувства. Ведь несправедливо требовать от них больше того, на что они способны; но насколько могут видеть глаза, они видят истину. Так неужели истинно то, что они видят относительно весла в воде? Совершенно истинно. Ибо если имеется причина того, почему это так кажется, то я с большим правом стал бы упрекать свои глаза за ложное свидетельство в том случае, если бы погруженное в воду весло представлялось прямым. Ведь тогда они не видели бы того, что при наличии данных причин им следовало видеть. Я не вижу, каким образом академик опровергнет того, кто говорит: я знаю, что мне это кажется белым; знаю, что это услаждает мой слух; знаю, что это для меня приятно пахнет; знаю, что это сладко на мой вкус; знаю, что это для меня холодно» («Против академиков», III, 11).

Программа Августина была реализована в Средние века, хотя и не без деформаций — произошел сильный крен в сторону наук формальных. Не без его влияния были осуждены оккультные науки, умолк античный театр, а живопись и поэзия на долгие столетия были поставлены на службу церкви. В раннем Средневековье конкретные науки рассматривались исключительно как прикладные к библейской экзегетике (искусству толкования текстов). Назначение математики полагалось прежде всего в объяснении библейских чисел, а физики и астрономии — библейской космогонии; биология была нужна для учета всякой божьей твари, минералогия — для оценки Божественной «экономии» в неживой природе. Впрочем, в руках неизвестных строителей средневековой материальной культуры — ремесленников и архитек-

торов, шлифовщиков линз и фортификаторов — эти науки продолжали выполнять и свою прежнюю функцию [47].

Родоначальник западноевропейской образованности Алкуин переписывал целые разделы из трудов Августина. Разразившийся в IX в. спор о предопределении, в котором приняли участие Рабан Мавр и еретик Эриугена, по сути был спором о правильном истолковании учения Августина. Отец схоластики Ансельм Кентерберийский призывал судить о верности суждений по степени следования Августину. На его авторитет опирались Абельяр и Петр Ломбардский, Гуго Сен-Викторский и школа Шартра. Даже в XIII в., в период возникновения систем Фомы Аквинского и Дунса Скота, Августин не утратил своего значения. В продолжение почти тысячелетия западноевропейские мыслители смотрели на Античность глазами Блаженного Августина [47].

СОХРАНЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА АНТИЧНЫХ ЗНАНИЙ

Время устраняет предрассудки
и утверждает законы природы.

Цицерон

В начале нашей эры традиции греческой натуральной философии и математических наук резко оборвались — некоторые достижения Западной Европы раннего Средневековья общей картины не меняют. «Креативность» не исчезла, но была направлена на решение другой задачи — выживания в негостеприимном мире.

Вклад религиозной культуры раннего Средневековья в научное движение выразился в сохранении и передаче знаний. Монастыри в этот период выступали как носители грамоты и классической традиции (включая науку и натурфилософию). Однако в широком смысле грамотность и ученичество, без которых Западная Европа вообще не сохранила бы науку, были под угрозой исчезновения.

Разрыв между Восточной и Западной Европой, ощущавшийся со времен Римской империи, в Средние века получил новое обоснование — это был разрыв и лингвистический, и религиозный, и политический. Органично возникло движение по перемещению средоточия власти и культуры с Востока на Запад, что соответствовало переходу власти от Византийской империи к западноевропейским королевствам и передаче знания из Афин и Рима — в Париж и Лондон.

3.1. РОЛЬ МОНАШЕСТВА, ПЕРВЫЕ СРЕДНЕВЕКОВЫЕ ШКОЛЫ

В V в. несторианские христиане учредили в Эмезе (Сирия) и Эдессе (Месопотамия) школы, в которых процветала греческая наука. Когда в 431 г. на Эфесском соборе епископ Несторий был низложен, школы утратили былую славу и закрылись. Несториане, однако, не прекратили своей деятельности, а лишь переменили ее место, перебравшись в Гундишапур (персидская провинция Кузистан), где их приняли цари Сасанидской династии.

Несториане перевели сочинения многих греческих писателей сначала на сирийский язык, а когда арабы завоевали Сасанидское царство — с сирийского на арабский [66].

В 529 г. произошли сразу три события, имевшие определяющее значение для формирования средневековой цивилизации: закрытие по повелению византийского императора Платоновской академии в Афинах, публикация первой части правового Кодекса Юстиниана и закладка Бенедиктом Нурсийским аббатства Монте-Кассино [87].

На рисунке 3.1 Бенедикт изображен с символами власти — посохом и связкой прутьев.

Законы, написанные Бенедиктом для управления жизнью монахов в Монте-Кассино, распространились на многие западные монастыри. Эти законы регламентировали все аспекты жизни монахов или монахинь, обязывая их посвящать свободное от молитв время определенным занятиям: медитациям, рукоделию и хозяйственным работам. Разумеется, рекомендовалось чтение Библии и благочестивой литературы. Бенедикт предписывал всем монахам и монахиням иметь дело с книгами, таблицами и писаниями. Правила обучения, вошедшие в устав бенедиктинцев, были приняты в монастырских школах по всей средневековой Европе (рис. 3.2, 3.3).



Рис. 3.1
Св. Бенедикт,
основатель
религиозного ордена.
Работа
Пьеро делла Франчески,
1450–1460 гг.
(церковь
в Борго-Сансеполькро)



Рис. 3.2
Средневековая школа при монастыре.
Миниатюра XIII в. [153], [186]–[188], [239]



Рис. 3.3
Учитель и ученики. Миниатюра XIV в. [126]



Бенедикт Нурсийский (ок. 480–547 гг.) стал основателем религиозного ордена бенедиктинцев, родоначальником западного монашества. Он создал 12 монашеских общин в 60 км от Рима, в Субиако, по образцу христианских монастырей в Малой Азии, Сирии и Египте. На юге, в 80 км от Субиако, Бенедикт основал монастырь Монте-Кассино, где составил устав, обязательность выполнения которого провозгласил сын Карла Великого Людовик Благочестивый на Ахенском соборе 816 г.



Рис. 3.4
Св. Дунстан
с гусиным пером
и ножом для его заточки.
Миниатюра
из бенедиктинского устава,
1170 г.
Аббатство Кентерберри [165]

Появление монастырских школ способствовало повышению грамотности и вдохновляло летописцев на сочинительство.

На рисунках 3.4–3.6 изображены оформители рукописей и летописцы с гусиными перьями и ножами для их заточки.

Одним из первых школьных учебников стал уже упомянутый трактат «Свадьба Филологии и Меркурия», созданный неоплатоником Марцианом Капеллой в V в. Из этого «кладеза премудрости» черпали знания многие поколения средневековых школяров.



Рис. 3.5
Гвидо ди Ареццо —
бенедиктинский монах,
музыкальный теоретик и педагог.
Миниатюра из манускрипта
«Micrologus», 1050 г.
Библиотека герцога Августа,
Вольфенбюттель [190]



Рис. 3.6
Монах Лоуренс, приор Дурбана, за
работой.
Миниатюра
из манускрипта 1149 г. [165]

Поначалу монастырское образование удовлетворяло исключительно внутренние нужды монастырского сообщества. Оно направлялось аббатами и аббатисами для получения монахами навыков письма и чтения, необходимых для праведной религиозной жизни и повышения духовного уровня. По мере умирания классических школ монастыри стали испытывать растущее давление местного нетитулованного общества и аристократов, желавших обеспечить образование своим детям, в том числе и тем, которых не собирались посвящать в монахи. Тогда монастыри стали создавать внешние школы. Но до IX в. нет свидетельств существования внешних школ при монастырях [218]. Если мы и знаем людей с монастырским образованием, выполнявших в этот период административные функции в церкви или государстве, то все не потому, что монастыри предоставляли образование мирянам через внешние школы, но потому, что студенты-миряне приглашались во внутренние монастырские школы — таким образом там собирался «кадровый резерв», который мог использоваться вне монастыря.

Когда византийский император Юстиниан наложил вечную печать молчания на афинские философские школы, последние семь греческих мудрецов-неоплатоников, включая Симплиция, комментатора Аристотеля, отправились в Персию в надежде найти покровителя в лице царя Хосрова I. Из сделанных ими переводов арабы почерпнули первые сведения, пока не научились обращаться непосредственно к первоисточнику. Несколько плодотворных семян, занесенных на девственную почву Востока, позволили старой науке пустить здесь новые корни [66].

Достижениями этого периода стали сохранение школьной традиции, основ семи свободных искусств и отчасти других областей знаний (медицины, права, географии), а также краткое изложение ряда философских систем Античности. Начал складываться новый стиль мышления и структуры культурных центров — школ, скрипториев, библиотек [87]. Во многом это произошло благодаря деятельности Северина Боэция, Флавия Кассиодора и Исихора Севильского. Боэций стоял у истоков нового типа философствования и интеллектуальной жизни. Кассиодор создал образец ее организационных форм. Исидор Севильский положил начало средневековому энциклопедизму.

3.2. БОЭЦИЙ И ЕГО АРК-ДИАГРАММЫ

Философ Аниций Манлий Торкват Северин Боэций (ок. 480–524 гг.) был блестящим эрудитом поздней Античности и раннего Средневековья (рис. 3.7). Он перевел и прокомментировал все сочинения Аристотеля, известные в то время, стал одним из творцов средневекового гуманизма, повлиял на восприятие музыки, к которой начали относиться как к одному из высших проявлений культуры. Боэций поставил перед собой задачу создания первого в истории латиноязычной лите-



Рис. 3.7
Боэций.

Средневековый английский манускрипт, 1130 г.
Библиотека Кембриджского университета

ратуры систематического труда по светским наукам, философии и христианской теологии. Ранняя гибель, увы, помешала полному осуществлению его планов [99].



Жизнь Боэция пришлось на переломные времена: в 485 г., вскоре после его рождения, умер Прокл — последний выдающийся неоплатоник, оплот античного мировоззрения, а через несколько лет после смерти Боэция Бенедикт Нурсийский основал старейший в Европе монашеский орден, заложив основы одного из центров христианской культуры.

Потомок древнего аристократического рода, Боэций получил блестящее образование. В молодые годы он исполнял обязанности распорядителя финансов королевства, занял ведущее положение в сенате, а в 522 г. оба его несовершеннолетних сына были избраны консулами. Это был пик карьеры Боэция. Однако по ложному доносу его обвинили в государственной измене, тайных сношениях с Византией и выслали в Тичин (Павию). Находясь в заключении, он создал трактат «Утешение философией». Умер Боэций в тюрьме.

Современники и потомки видели в Боэции кладезь античной мудрости, изложенной в доступной форме. Неслучайно на фронтисписе средневекового трактата по арифметике Боэций соседствует с математическим гением Античности Пифагором (рис. 3.8). Трактаты школьного цикла, например «Наставления к арифметике», куда входили сочинения по дисциплинам квадривиума, Боэций написал в 20-летнем возрасте. В его произведениях школяры находили сумму знаний, приобщающих к классической философии и науке,



Рис. 3.8
Аллегорическое изображение Боэция и Пифагора на обложке трактата «Margarita Philosophica», 1504 г. Старую школу математики символизирует Пифагор с абаккой, новую — Боэций, использующий арабские цифры [253]

магистры философии — проблематику рассуждений и отточенную методику доказательств, музыканты — тонкую интерпретацию античной теории музыки.

Книги, служа в прямом смысле слова средством передачи учености, могли быть поняты, будучи написанными на языке страны, в которую переносились. Отсюда возникла потребность в переводах. «Благодаря твоим переводам, — писал Боэцию его друг Флавий Кассиодор, — гармония Пифагора и астрономия Птолемея доступны италийским читателям; арифметика Никомаха и геометрия Евклида понятны авсонийцам; теология Платона и логика Аристотеля обсуждаются на языке Ромула; даже механику Архимеда ты обратил на латынь на пользу сицилийцам».

Боэций поставил своей целью сохранить философию Платона и Аристотеля. Он занялся системой образования и созданием латинских учебников, обобщавших в доступной форме достижения греков в арифметике, музыке, геометрии и астрономии,

закрепив разделение системы семи свободных искусств на две ступени. Термин «квадривиум» впервые был употреблен именно Боэцием (рис. 3.9). Содержательная сторона отступала, вперед выходила систематичность — важнее научить человека мыслить. Это предопределило развитие всей системы средневекового образования, отличавшейся схематизмом и умозрительным характером [87]. Получив математическое образование, человек, как считал Боэций, подготовлен для занятий истинной наукой — философией, «тогда как квадривиум — это дисциплины, а не науки!». Спустя 50 лет после появления трудов Боэция, где нет и попытки связать образование с христианской традицией, Кассиодор утверждал, что только Откровение является источником мирских наук.

Боэций предложил разграничение сфер науки и теологии по предмету и способу мышления: «Спекулятивное знание делится на три части — естествознание, математику и теологию. Первая рассматривает вещи в движении, вторая — без движения, а третья — отвлеченная, поскольку Божественная субстанция лишена как материи, так и движения. Естественные предметы должны рассматриваться с помощью рассудка, математические — с помощью науки, а Божественные — с помощью интеллекта». Идея разделения веры и знания изложена в трактате «О Троице».

Помимо просветительской и переводческой деятельности, Боэций проводил собственные исследования. Экспериментируя с монохордом, он дальше пифагорейцев продвинулся в теории музыки. Его труды и сегодня изучаются специалистами по средневековым канонам и звукорядам. Гимн красоте мироздания пронизывает его «Музыку» и «Арифметику», причем во всех произведениях доминирует идея всеобщей гармонии. Боэций явился основателем традиции поиска гармонических сочетаний и их графического представления в различных областях — в музыке (рис. 3.10) и на небесах, в числах и цветах (рис. 3.11), в первоэлементах, чередованиях времен года и даже в размерах фаланг на руке человека (рис. 3.12, см. цв. вкл., ил. 2). Визуально эта гармония представала в так называемых *арк-диаграммах Боэция*. Отношения отрезков и дуг на этих диаграммах он первым использовал для наглядной иллюстрации идей пропорциональности, отношений целого и его долей (включая золотое сечение), вообще любых числовых величин, выражающих качественные различия. Используя эту символику, Боэций систематизировал музыкальные промежутки от терции до диоктавы и применил гармонические законы к анализу чередования цветовых оттенков видимого света. В этом смысле его можно считать предтечей введения цветовой шкалы, основателем колориметрии и пионером исследований в области цветовой музыки.



Рис. 3.9
Аллегорическое изображение наук квадривиума: музыки, арифметики, геометрии и астрономии. Иллюстрация из учебника Боэция, X в. [248]–[260]



Рис. 3.10
 Диаграмма Боэция для гармонических сочетаний в музыке

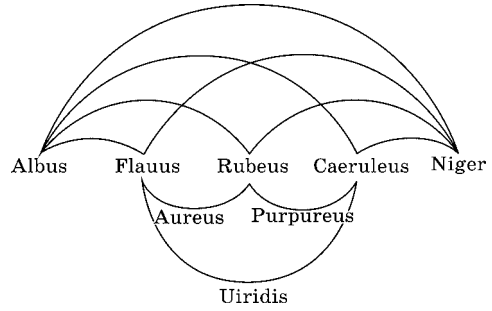


Рис. 3.12
 Диаграмма Боэция для гармонии цветových сочетаний из учебника по оптике Франческо Агвилони, XVII в.

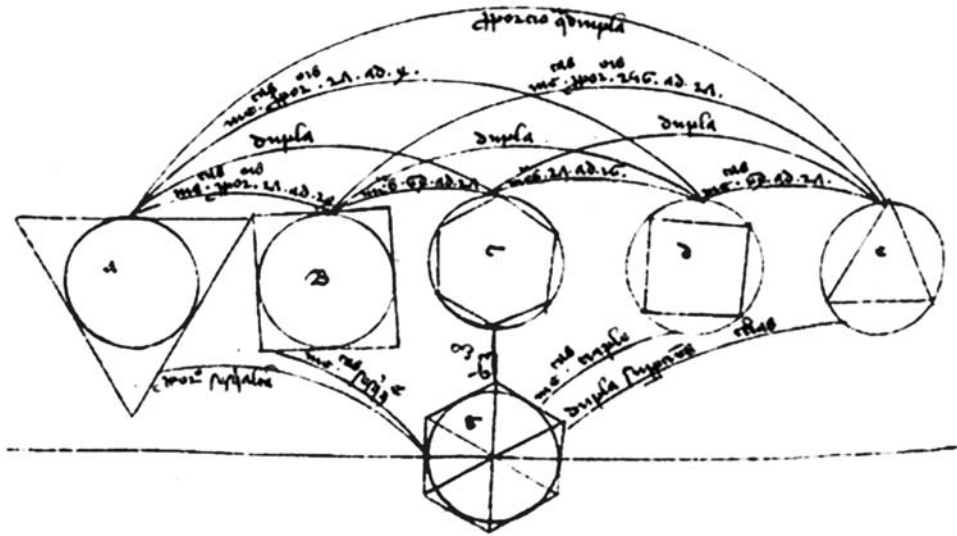


Рис. 3.11
 Попытка использовать диаграммы Боэция для классификации правильных многоугольников

В содержании философских рассуждений Боэция и в частом употреблении им световой символики ощущается влияние неоплатоников — Плотина, Ямвлиха, Прокла. По Боэцию, сначала разум с помощью зрения физического познает земное бытие, т. е. овладевает знанием о материальных сущностях, затем постигает законы, управляющие мирозданием, небом, движением светил, музыкальными и цветовыми пропорциями, выражая это в числах, и лишь затем его, подготовленного, озаряет свет Божественной истины [198].

Боэций первым использовал латинский термин *перспектива* для обозначения одной из начальных геометрических дисциплин [136]. Это слово образовано им от *perspicere* не в значении «видеть сквозь», а в значении «видеть

ясно». Три известных средневековых трактата по оптике — Бэкона, Вителло и Пеккама — так и назывались: «Перспектива». Образованный человек в средневековой Западной Европе не мог не знать Боэция. Многие почерпнули у него схоласты Альберт Великий и Фома Аквинский, Роберт Гроссетест, Роджер Бэкон и Николай Кузанский.

Боэций первым представил ситуацию общения всезнающего наставника и молча внимающего ему ученика, лишённого права на сомнение. Это был прообраз системы «учитель — ученик», характерной для школ и университетов Средневековья.

3.3. КАССИОДОР И ЕГО ВИВАРИУМ

С именем одного из столпов западноевропейской средневековой образованности Флавия Магна Аврелия Кассиодора Сенатора (ок. 490 — ок. 580 гг.) связано появление нового типа организации культурной жизни, определение границ и внутренней структуры того, что сегодня называют образовательным пространством. Он стремился примирить Италию с Византией, ортодоксальных христиан с арианами, языческое знание со Священным Писанием. Когда неизбежность гибели Остготского королевства под натиском Византии стала очевидной, Кассиодор отошел от государственных дел, чтобы проявить себя как теоретик образования и организатор новых форм культурной жизни [87].



Кассиодор родился на юге Италии и был потомком знатного рода. Он прожил около 90 лет: начал свой жизненный путь при Одоакре, сместившем последнего малолетнего императора Ромула Августула, и завершил его, когда север и центр Италии были захвачены лангобардами, пережив Остготское королевство, византийское и лангобардское завоевания. Почти 40 лет Кассиодор находился на вершине власти. Он играл значительную роль на политической арене остготской Италии как посредник между римско-византийским миром и обществом варваров. В 18–19 лет квестор двора, Кассиодор стал автором актов государственной власти. При преемниках Теодориха получил префектуру претория и патрициат. В этом статусе пережил длинную цепь событий: направляемый из Византии заговор старых римских друзей, резкое изменение политики Теодориха, гибель Симмаха и Боэция, в дальнейшем вновь терпимое правление Амаласунты, затем властвование сгубившего ее мужа Теодегада, свержение его военной партией и правление ее вождя Витигеса вплоть до его падения. Временное отвоение Италии Юстинианом (539) положило конец карьере Кассиодора. Он удалился в монастырь Вивариум в Калабрии, где заложил основы воспитания варварских народов, организовав работу по переводу греческих текстов и переписыванию рукописей на латыни.

Кассиодор, живший в период культурного перелома эпохи, назван историками «последним римлянином и первым человеком Средневековья». Он если не изобретатель, то носитель системы дуализма, некоего внутреннего раздвоения — римлянин, служивший варварам, и поклонник паганистической литературной Античности, покровительствовавший монастырям, — искал компромисс [24].

Кассиодор стоял у истоков книжной и библиотечной Европы. Одним из первых он начал рассматривать интеллектуальный труд как Божественное

служение и предложил монахам новое поле деятельности — штудии как способ самосовершенствования и повышения влияния монашества. Вторая часть его главного труда «Наставления в науках Божественных и светских» — это, по сути, энциклопедия мирских наук, предназначенная для монахов. Около 540 г. Кассиодор отошел от государственных дел, предпочтя им тишину библиотечной работы, перебрался из Равенны в Южную Италию, в свое имение, на землях которого основал монастырь и назвал его Вивариумом. Вторая половина его почти столетней жизни — это стезя библиотекаря, родоначальника многочисленных средневековых антиквариев, либрарий и скрипториев.

Вначале мечты Кассиодора были достаточно амбициозны, речь шла о создании европейского очага науки и образования: «Я пытался вместе с блаженнейшим папой Агапитом основать в Риме христианскую школу, подобную той, что долгое время существовала в Александрии, а теперь устроена в сирийском городе Насибии». Но война с Византией и смерть папы не позволили создать первый университет на Западе [87]. Тогда пришлось поставить более скромную задачу: основать библиотеку — мастерскую письма со школой; где опорой для толкования Писания служила бы мирская наука и где можно было бы предаваться размышлениям о спасении души и «познанию внешнего и внутреннего космоса». Кассиодор много говорил о нехватке учителей и их суровости — и то и другое должна была компенсировать библиотека. В результате его усилий Вивариум сформировался как важный просветительский центр, хранилище духовных традиций и знаний. Здесь сложилась трехчастная структура монастыря как культурного центра, ставшая для Средневековья традиционной: библиотека (см. цв. вкл., ил. 3), скрипторий (рис. 3.13, 3.14), школа. Книги ценились так высоко, что часто хранились в монастырских библиотеках на цепях.

Труд не столько физический, сколько духовный, но без аскетизма стал важным отличием обители Кассиодора. Священная литература не исчерпывала книжных сокровищ Вивариума. Здесь были представлены философы от Платона и Аристотеля до Порфирия и Боэция; медики и ученые (Теофраст, Гиппократ, Гален); математики (Пифагор, Евклид, Никомах); теоретики музыки, астрономы (Гиппарх, Птолемей); эрудиты (Варрон, Плиний Старший); поэты (Вергилий, Гораций, Катулл) и другие языческие авторы, которых Кассиодор ставил высоко. В библиотеке Вивариума, возможно, хранились «Оптики» Евклида и Птолемея, «Катоптрика» Архимеда, «О природе вещей» Лукреция, «Метеорологика» Аристотеля и труды Галена, Гиппократа и Теофраста с изложением античных гипотез о механизме зрения. Переписанные кодексы отличались качеством и тщательностью отделки.

Главный труд 75-летнего Кассиодора — трактат «Наставления в науках Божественных и светских» — предназначался для обучения обитателей Вивариума. Кассиодор рекомендовал для изучения «космографию, которую надлежит читать монахам», и медицинскую науку для практических целей. О седмиричном круге наук он высказывался так: «Прежде всего скажем об искусстве грамматики, затем — об искусстве риторики, на третьем месте — о логике, на четвертом — о математике, которая сама объемлет четыре дисциплины, а именно: арифметику, геометрию, музыку и астрономию».



Рис. 3.13

Вид средневекового скриптория, воссозданного для фильма «Имя Розы» по одноименной книге Умберто Эко [185]



Рис. 3.14

Св. Иероним за работой. Рукопись XV в. [185]

Мирская наука, по Кассиодору, полезна лишь в той мере, в какой она помогает понять Писание [24]. На фундаменте Писания он возводит здание свободных искусств, для него непреложны первичность Откровения и вторичность наук и искусств. Так, математику Кассиодор интерпретирует как науку, рассматривающую абстрактные количественные величины. Поскольку Бог расположил все сущее с помощью меры и чисел, необходимо ее изучать. Следуя за Боэцием, он указывает на практическое применение математики — например, расчет дней христианских праздников, в частности Пасхи. Музыка Кассиодор определяет как дисциплину, со времен Творения пронизывающую все проявления нашего бытия; ссылаясь на Пифагора и Августина, он указывает на связь музыки и добродетели. Суть геометрии выводится из особенностей, сообщенных Богом всему сотворенному: «Геометрия — наука о неподвижных величинах и формах». Астрономия, или «закон звезд», — из порядка, данного Создателем.

Краткость изложения натурфилософии во второй книге трактата резко контрастирует с многословием в гуманитарных разделах. Кассиодор говорит о составных частях тривиума и квадравиума и как об искусствах, и как о науках. В книгах «Наставления в Божественной литературе» и «О свободных искусствах и дисциплинах» отсутствует их категорическое разделение. Ссылаясь на Платона и Аристотеля, Кассиодор определяет науки как «то, что своими правилами нас ограничивает и удерживает», как знания о необходимом. Предметом же искусств является акцидентное, неопределенное. Семь ступеней тривиума и квадравиума в одном отношении могут быть понимаемы как науки, в другом — как искусства, ибо отражают сущее в разных аспектах и различным образом: «Начало способности говорить дает природу, а начало искусству — наблюдение» [87].

В сочинениях Кассиодора прослеживается образ животворного света знаний, рассеивающего тьму невежества и указывающего путь к совершенству. Свет языческого, например математического, знания, хотя и вторичен, но способен принести практическую пользу, а свет знаний христианских, боговдохновенных, является эманацией высших философских истин. Кассиодор сравнивает Божественный свет с прямыми солнечными лучами, а свет знаний квадравиума — с отраженными и частично искаженными световыми бликами.

3.4. ИСИДОР СЕВИЛЬСКИЙ И ЕГО «ЭТИМОЛОГИИ»

Главный энциклопедист Средневековья Исидор Севильский (ок. 560–636 гг.) происходил из семьи знатного испанского римлянина и дочери вестготского короля (рис. 3.15). В юности он получил блестящее риторическое образование. Современники называли его «самым ученым из людей нынешнего времени». В основе его капитального труда «Этимологии» заложено несколько важных идей: названия — ключ к сути вещей; чтобы понять Священное Писание, необходима светская культура; важно собирать воедино накопленные человечеством знания.

Труд Исидора стал для европейцев в некотором роде второй Библией, только в области светского знания [34].



После смерти старшего брата Исидор унаследовал епископскую кафедру в Севилье. Он стал епископом около 600 г., когда вестготы отказались от арианской ереси и перешли в ортодоксальный католицизм. После вступления на престол вестготского короля Сисебута (612) его наставник Исидор преподнес ему свое сочинение «О природе вещей». Исидор предложил объединить нацию школьным образованием с единой образовательной программой и системой религиозных школ. Председательствуя на Четвертом соборе в Толедо в 633 г., он издал декрет о создании школ во всех кафедральных городах. Предписывалось изучать не только христианские науки, но и светские свободные искусства, греческий и еврейский языки. Поощрялся интерес к медицине и юриспруденции, чем закладывалась средневековая система трех факультетов университетов — богословского, юридического и медицинского. Еще до арабов Исидор стремился поддержать интерес к Аристотелю [99].

Традиция составления энциклопедий, расцветшая в Риме, продолжилась в Западной Европе, являясь источником образованности и связующим звеном между духовными мирами поздней Античности и раннего Средневековья. Главная заслуга этой традиции — в систематизации интеллектуальных достижений и определении содержания образовательной системы, адекватной требованиям времени. К этому жанру относятся и «Этимологии» Исидора.

В соответствии с его концепцией интеллектуальные усилия должны создать общее учение, науки, привести к обретению мудрости и достижению благочестия. «*Наука* (disciplina) имя получила от *научения* (discendo), потому она также может называться и *знанием* (scientia). Ведь „знать“ (scire) произошло от „учиться“ (discere), ибо никто из нас ничего не знает, если не учится. *Искусство* же (ars) так называется потому, что состоит из наставлений и правил искусного мастерства. Наук свободных искусств (artes liberales) семь: грамматика, риторика, диалектика (логика), арифметика, музыка, геометрия, астрономия». Когда некоторые вещи точно охватываются разумом (ratio) — это знание; когда нечеткая вещь все еще скрыта и не кажется разуму надежной — это мнение (opinatio).

К последним Исидор относит следующее [34]: является ли Солнце таким, каким видится, или оно больше, чем Земля; является ли Луна шарообразной или вогнутой; прикреплены ли светила к небу или перемещаются свободным течением в воздухе?

По Исидору, натурфилософия обсуждает природу любой вещи, поскольку в жизни само ничего не рождается, но все предназначается для своей пользы. Теология рассуждает о невыразимой



Рис. 3.15
Исидор Севильский,
первый энциклопедист Средневековья,
в епископском облачении.
Изображение XVII в.

природе Бога или духовных творений. Научная философия есть знание, рассматривающее отвлеченное количество, которое мы посредством ума отделяем от материи. У нее четыре вида (см. цв. вкл., ил. 4): арифметика (о числовых количествах самих по себе), геометрия (о неподвижных величинах и формах), музыка (о числах, которые открываются в звуках) и астрономия (которая рассматривает все виды движений неба и фигуры созвездий и касается обращения светил вокруг себя и вокруг Земли). Наука — это знание, облеченное в слово. Обладая методическим единством, она внутренне структурирована. Ее основание (первые три книги «Этимологий») в соответствии с античной традицией составляют свободные искусства. Исидор не делит их на тривиум и квадривиум и, как было принято в римской школе, начинает изложение с грамматики и диалектики, рассматривающейся им как метод обучения и помещенной в одной книге с риторикой. В четвертой книге изложены основы медицины (анатомии, физиологии), характеристики болезней и методы лечения (по Асклепию, Гиппократу, Галену). Пятая книга о законах и временах касается права; шестая — о книгах и богослужениях — излюбленное наставление либрариев и переписчиков. Седьмая и восьмая книги посвящены теологическим проблемам [87]. Заметим, что в средневековых трудах книгами обычно именовались части или разделы единого трактата.

В своем аллегоризме Исидор прямолинеен. В смене дня и ночи он усматривает аллегория человеческой жизни: свет символизирует добродетель, тьма — пороки. Вселенная Исидора состоит из земли и неба, представляющего сферу, верхний слой которой — граница мира. Небо круглое, неподвижное, пылающее. Оно вращается вокруг полюсов мира, семь блуждающих звезд — планет — движутся по своим орбитам — хрустальным сферам. Высший круг неба отделен от прочих огненным эфиром, в котором пребывают *природы* — энергии всего одушевленного. Чтобы умерить жар *высшего неба*, под ним текут небесные воды, которые не стекают вниз, так как «природа их неподвижна и тверда, как лед». Солнце огненно, обладает силой освещать и испарять. Оно в несколько раз больше Земли, но кажется меньшим из-за «слабости человеческого зрения». Луна меньше Солнца и расположена ниже. Относительно характера ее света Исидор приводит две точки зрения: Луна получает свой свет от Солнца; она светится сама, но имеет две стороны — светлую и темную. Сам автор больше склоняется к первой гипотезе. Луна — шар, вращающийся вокруг своей оси, этим объясняются ее фазы. По своим круговым орбитам движутся звезды. Частей мира четыре (восточная, южная, западная и северная), поясов — пять (арктический, летний, средний, зимний, антарктический). Мир состоит из четырех элементов — огня, воды, воздуха и земли. Во Вселенной Земля находится в центре и неподвижна. Из трактата трудно понять, считал ли сам Исидор землю шаром или плоскостью, скорее он склонялся к последнему мнению. Следует отметить, что в его труде использованы многочисленные схемы — круги лет, мировых сфер, куб элементов, роза ветров [87].

Первые восемь книг «Этимологий» выстроены в систему, предполагающую ступенчатость образования: тривиум — квадривиум — медицина — право — теология. То, что в XII–XIII вв. подобный порядок утвердился в средневековых университетах, в определенной степени является заслугой Исидора. Начиная с девятой книги, доминирует мозаичность: история, география, во-

енные сведения, толкование алфавита, сведения о человеке и чудовищах, космография (тринадцатая книга). К этому добавлены сведения о круге земель, строениях и полях, минералах и химии, войне и театре, мореплавании и флоте, об агрономии, пище, домашнем обиходе.



За изложением семи свободных искусств следует книга о медицине. Затем — раздел о диковинных существах и чудовищах. Иногда с позиций науки Нового времени труды Исидора считают собранием бессмыслиц, но таковым было знание в Античности и Средневековье. Наука в то время была, по выражению Энгельса, «чем угодно, только не наукой». Солнце выступало аллегорией Христа, звезды — святых, гром — глас Божий и т. п. Однако отсутствие опытно-экспериментальной базы не означает отсутствия познания, хотя и преобладали донаучные философско-риторические методы духовного освоения мира. Слово воспринималось не как эфемерное подобие вещи, но как большая реальность, чем сама существующая вещь. Дать имя означало овладеть сущностью вещи или явления, творить мир — творить слово.

Достоверность «Этимологий» — этого первого энциклопедического словаря Средневековья с преобладающим интересом к астрономии, космографии, географии, агрокультуре — была не особенно высока. Собрал сведения, чаще всего из вторых рук и без всякой проверки, Исидор дополнил их собственным творчеством, пытаясь «вывести значение слова из его корня». Печально знаменитыми остались его «*lucus a non lucendo*» («роща — от несвечения») и «*firmus a fiat mus*» («навоз, земля да будет мышью»). Произвольность этимологий, а также противоречия между фактами и испанской действительностью надолго подорвали доверие науки к Исидору. Тем не менее его оценка в Средние века была высока. Беда Достопочтенный и вся плеяда каролингских ученых усердно списывали и пережевывали труды Исидора.

Нынешней науке не помешало бы иначе подойти к его оценке. Нельзя отрицать добросовестности Исидора: использованные им скрытые цитаты восстанавливают утраченные фрагменты древней литературы. Исидор не только списывал, но и наблюдал, свидетельством чему часто встречающиеся обороты «в Испании же его называют...», «черный свинец изобилует около Кантабрии», «орудие это испанцы называют аистом». В его фантазиях можно видеть жизненную правду: «...соллома, как бы сжигаемая по сбору жатвы, ибо солому жгут ради культуры полей». Век оживает в исторических зарисовках севильского епископа. Он заимствует у Августина разделение истории мира по схеме шести дней Творения [24].

Для изложения гармоник — первого раздела музыки — и объяснения понятий *созвучие* и *благозвучие* Исидор приводит усовершенствованные по сравнению с Боэцием арк-диаграммы для диоктавы из двух кварт и квинты, двух квинт и кварты. Он одним из первых показывает деление октавы (кварт — тон — кварта) и кварты (тон — тон — полутон). Он видит различие между астрономией и астрологией: «Астрономия охватывает обращение неба, восходы, заходы и движения созвездий, или по какой причине они так называются. Астрология же — наука частично природная, частично суеверная. Природная, когда следует движениям Солнца и Луны или определенным по времени положениям светил. Суеверная есть та, которой следуют звездочеты, гадающие по светилам и распределяющие 12 небесных знаков по отдельным частям тела и души, пытаясь по движению созвездий предсказывать гороскопы и нравы людей».

В натурфилософских разделах «Этимологий» подробно рассматриваются вопросы астрономии: положение небесной сферы, ось неба, небесные полюса, небесный свод, полусферы, пять кругов неба, круг Зодиака; величина и движение Солнца, величина, свет, фазы и движение Луны, солнечные и лунные затмения; свет и движение светил, расстояния до светил, светила-планеты, предшествование и прямое движение светил, их удаление, попятное движение и стояние.

Упрощенно, но правильно Исидор излагал перипатетическую метеорологию. Она основывалась на представлении, что земная атмосфера простирается до Луны, а за ней мир состоит из эфира, пятого элемента Аристотеля. Метеорологические (подлунные) явления объяснялись теорией двух испарений: под действием солнечного тепла из воды выделяются влажные испарения, а из земли — сухое (огненная пневма). Пневма поднимается выше влажных испарений и занимает место вблизи эфира, частично смешиваясь с его нижними слоями. Эта пневма есть огонь, вызывающий свечение, а языки пламени, в быту называемые огнем, — это как бы вскипевшая пневма. Взаимными влияниями и движениями верхних слоев воздуха, пневмы и эфира Исидор объяснял явления метеоров, северного сияния и комет. Здесь же затрагивалась природа физического света.

Сочинения Исидора изучали в школах и университетах Европы. Петрарка свидетельствовал об их распространении в его время, а гуманисты называли севильца «последним филологом Античности» [87].

Последние годы Меровингской эпохи были ознаменованы хронологическим и календарным переворотом. До VI в. Европа жила по старому счету, установленному от «сотворения мира» двумя александрийскими математиками. Эра исчислялась в 5508 лет. В VI в. монах Дионисий Малый предложил иную эру — от Рождества Христова, вычисленную им на 754 г. от основания Рима. Она была скоро принята в Италии, затем в Англии, где в 604 г. ею помечена королевская хартия. Континент не отзывался на нее до 742 г., но затем она была принята, как и новые пасхальные таблицы, рассчитанные до 1064 г. Бедой Достопочтенным. Новая пасхалия обошла всю Европу [24].

3.5. ИРЛАНДЦЫ И БЕДА ДОСТОПОЧТЕННЫЙ

Удивительным фактом витиеватого пути передачи знаний и хорошей иллюстрацией проникновения классического образования в европейские монастыри являются находки VI–VII вв., сделанные в Ирландии. Здесь, на окраине Европы, обнаруживаются написанные по-гречески трактаты, посвященные математическим искусствам квадривиума, в частности календарным проблемам [241].

Выходцы из Ирландии, монастыри которой обладали большей самостоятельностью и были отдалены от религиозной борьбы на континенте, собирали и переписывали рукописи. Они сохранили знание греческого языка и были прекрасными иллюстраторами, в работах которых доминировали зеленые цвета и растительные мотивы. Примером тому может служить Книга кельтов (рис. 3.16) — один из шедевров кельтского искусства, созданный в ирландских монастырях. В VI–VII вв. ирландцы возвращают часть этого на-

следея на континент — в аббатство Боббио и монастырь Сен-Галлен, где их усилиями возникают крупные центры средневековой культуры, хранилища античной литературной и философской традиций. Если Ирландия и не «спасла цивилизацию», как пишут некоторые [142], то ее монастыри, безусловно, внесли существенный вклад в европейскую интеллектуальную жизнь раннего Средневековья. Считается, что ученость покинула все прочие края, чтобы сосредоточиться в тех частях Каролингской империи, которыми правил Карл Лысый. Между 884 и 887 гг. монах Сен-Галленского монастыря Ноткер Заика составил хронику, в которой учителю и советнику Карла Великого Алкуину приписывалось первенство в перенесении учености из Англии на континент. Монах, работавший в ирландском аббатстве, не оставил без внимания роль, которую в передаче знаний сыграла Ирландия. Ноткер рассказывает, как два ирландских ученых, прибыв из Ирландии с британскими торговцами, высадились на берегах Галлии. Они заручились вниманием Карла Великого, и он вверил им обучение мальчиков знатного, среднего и даже низкого происхождения [32].

Нортумбрийского монаха Беду Достопочтенного (673–735 гг.) считают вторым после Исихора Севильского энциклопедистом Средневековья.



О Бедe известно многое. В возрасте семи лет он попал в монастырь Вермонта в Нортумбрии на северо-востоке Англии и провел там всю свою жизнь, сначала учась в монастырской школе, а затем преподавая. Монастыри Нортумбрии были наследниками ирландских обителей и восприняли квадривиальное обучение, но в то же время сохранили связь с континентальными школами.

Беда — последователь монахов, проповедовавших в Британии Евангелие и принесших сюда античную культуру. Его сочинения стали столь популярны, что он был прозван Достопочтенным и считался последним из Отцов Церкви.

Без сомнения, Беда был выдающимся ученым VIII в. Он автор многих работ, но наиболее известным его трудом стала «Духовная история



Рис. 3.16

Иллюстрации из Книги кельтов, созданной в Ирландии в 780–830 гг.
Библиотека Тринити-колледжа, Дублин

народа англоv». По следам Плиния и Исидора он написал трактат «О природе вещей» и два учебника по измерению времени и составлению календаря. В трактате «Об исчислении времени» Беда предложил способ измерения времени, привел описание зависимости приливов от фаз Луны и основные положения наук о природе.

В отличие от своих латинских предшественников, «крохоборствовавших у стола литературной Античности» [24], Беда воспринимал мир свежо и живо. Его экскурсии о небе, звездах, свете, темноте, воздухе и бурях — не сухо изложенные знания эрудита, в записках есть что-то личное, полнозвучное и живое. При первом сравнении космологических трактатов Исидора и Беды кажется, что английский ученый пребывает в полной зависимости от испанского, воспроизводя без отступлений план и заголовки последнего. Но трактовки Бедой космических явлений независимы. Как ученый Беда яснее и основательнее Исидора толкует затмения. Как непосредственный наблюдатель природы он многим интересуется иначе и эмоциональнее. Как северного жителя его очень занимают колебания в длине ночи и дня, и этот отдел у него особенно обстоятелен; а как островного жителя — интересуют приливы и отливы. Его трактат «О неделе» от семи дней мироздания доходит до семи возрастов истории. Через понимание видимых явлений космоса Беда ведет читателя к созерцанию вечного дня «за звездными пределами» [24].

Если говорить о популяризации и передаче знания как о традиции, то Боэций, Кассиодор, Исидор и Беда представляли ее самым подобающим образом. Они боролись за сохранение остатков классического учения и внедрение его в христианский мир. Но заслуживает ли сама традиция того внимания, которое мы ей уделяем? Если история науки есть лишь хронология великих открытий и достижений или монументальных научных размышлений, то всем перечисленным деятелям не уготовано в ней места, и никакие научные принципы, циркулирующие сегодня, не связаны с их именами. Однако если история науки есть еще и исследование исторических течений для понимания того, откуда мы пришли, куда и как попали, — тогда деятельность Боэция, Кассиодора, Исидора и Беды есть важная часть этой истории. Они не были создателями нового научного знания, но заново сформулировали и сохранили уже существовавшие достижения научной мысли в тот век, когда изучение природы было маргинальным занятием. Они обеспечили непрерывность *translatio studii* через опасный и трудный период истории и на протяжении многих веков оказывали значительное влияние на европейское знание.

ВИЗАНТИЯ И ОПТИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ АНТИЧНОСТИ

Учителя, которым дети обязаны воспитанием,
почтеннее, чем родители:
одни дарят нам только жизнь,
а другие — добрую жизнь.

Аристотель

Миланским эдиктом 313 г. римский император Константин Великий провозгласил христианство официальной религией Римской империи. Отказавшись от язычества, он перенес столицу из Рима в небольшой город Византии.

В 392 г. император Феодосий запретил языческие религии и приказал разрушить языческие храмы. Тысячи греческих книг были сожжены. Затем начались преследования конкретных философских школ: в 488 г. император Зенон закрыл Эдесскую академию в Сирии, а в 529 г. император Юстиниан, известный своими преследованиями христианских ересей, закрыл Афинскую академию неоплатонизма и все языческие школы, окончательно запретив преподавание эллинской философии. Наконец, завоевание в 640 г. Египта сторонниками набиравшего силу ислама нанесло греческой культуре последний удар. Уцелевшие книги были уничтожены. По преданию, халиф Омар провозгласил: «Либо в этих книгах написано то, что есть в Коране, и тогда нам незачем их читать, либо они утверждают то, что противоречит Корану, и тогда их не подобает читать». Почти полгода бани Александрии отапливались пергаментными свитками с бесценными текстами.

Но никакие репрессивные меры не смогли искоренить античные традиции восточноримского общества. Говорившие по-гречески *ромей* еще несколько столетий оставались фактически наследниками Античности. Оригинальность и неповторимость византийской цивилизации состояла в органичном синтезе трех компонентов: антично-эллинистических традиций общественной и культурной жизни, римской государственности и христианства. Позднеримский и византийский император никогда не был богом или потомком богов, как иранские шахи — «братья Солнца и Луны». Христианство объявляло Божественной лишь власть императора, а не его самого.



Известна легенда о передаче власти Константину, создателю новой христианской империи, самим Богом. По преданию, этому предшествовало мистическое видение. Когда Константин с войском расположился лагерем под стенами Рима, он узрел знак в небе и услышал голос, повелевавший его войнам нарисовать крест на щитах перед битвой. Вскоре императору явился Христос, повелевший изобразить этот символ и на личном знамени Константина. В этом же видении император узрел солнце, источающее во все стороны яркие лучи, — символ, который был принят римскими кесарями и, таким образом, являлся эмблемой Константина. «Огромный штандарт с изображением солнечных лучей был щедро украшен золотом и имел поперечину наверху, к которой крепились две узкие пурпурные ленты, расшитые золотом. Увенчан он был золотым венком с золотым крестом и монограммой Христа» [63]. Константин повиновался знамению, и его войско нанесло поражение врагам. Трудно сказать, было ли видение простым метеорологическим явлением или чудесным озарением, но именно с тех пор тема всепобеждающего Божественного сияния, света физического как проявления высших сил, становится общим местом православной теологии.

Развитие научных представлений о физической природе света в раннем Средневековье было несколько ослаблено иррациональными рассуждениями о свете Божественном. Период становления христианской философии сопровождался возникновением и развитием учения, названного впоследствии *метафизикой света*. Начало традиции прослеживается в языческой философии; примерами служат античный хроматизм, учение о летучих пленках-образах, а также о зеркальных и преломленных изображениях [76].

В христианской метафизике света византийскими мыслителями разрабатывались вопросы двуединой природы света (физического и сверхчувственного), цветовой символики, а также систематики изображений земной и Божественной природы, в том числе зеркальных, искаженных, рукотворных и т. п. Всевидящее око, Фаворский свет, Преображение, нимбы святых и их видения — все это отражает элементы учений, разработка которых Отцами Церкви относится к раннехристианскому периоду, совпадающему с эпохой основания византийской цивилизации.

Мыслители эпохи Просвещения считали Византию обломком Римской империи, просуществовавшим до середины XV в. Другие историки считают ее позднеантичным государством, хранителем наследия Античности. Сами византийцы до конца существования своей страны считали себя римлянами. Полиэтнический состав населения с разными историческими и духовными традициями создал почву для возникновения различных течений в христианстве. Ряд языческих обрядов был включен в христианский ритуал. До конца X в., когда установили день Рождества 25 декабря, в день зимнего солнцестояния устраивался праздник в честь бога Солнца. На торжествах император, олицетворявший бога Солнца, появлялся в нимбе, изначально символизировавшем это божество.

В раннехристианские времена языческие верования жестоко подавлялись. Однако полностью искоренить неугодные ей обычаи церкви не удалось. Осознав это, она постаралась включить их в христианскую доктрину. Празднование сбора урожая заменило вакхические ритуалы, события из

жизни Христа стали отмечать в дни, которые были праздниками у язычников. Изжить ересь и суеверия оказалось непросто. В библиотеке императорского дворца хранилась иллюстрированная портретами императоров книга, предсказывающая будущее страны. В VIII в. император Константин V советовался со своими астрологами, прежде чем сразиться с врагами. Так же поступал и Алексей I Комнин в XI в. Астрология считалась близкой к магии и осуждалась церковью даже в XII в., когда многие признавали ее наукой. Клеймо, полученное астрологией от православия в раннехристианский период, просуществовало на протяжении всей истории Византии. Поэтому в Западной Европе астрология оказалась в большей чести, чем в Восточной.

4.1. ВИЗАНТИЙСКАЯ КУЛЬТУРА И ОБРАЗОВАНИЕ

В то время как на латинском Западе классическая традиция постепенно угасала и натурфилософия становилась служанкой теологии и религии, на грекоговорящем Востоке большая социальная и политическая устойчивость Византии обеспечила продолжение школьной традиции. Классическое обучение в школах поддерживалось отработанным механизмом копирования античных работ и переводами новых — Восток никогда не чувствовал себя отделенным от источников греческого образования лингвистическим барьером. Христианство и манихейство требовали определенного философского фундамента и тем самым вносили вклад в эллинизацию восточных территорий. Заслугой Византии явилось сохранение произведений древнегреческой классики.

В 425 г. император Феодосий II превратил Константинопольскую академию в университет, где десять вакансий занимали профессора латыни, десять — греческого и три — риторики. Профессора латыни назывались *ораторами*, профессора греческого — *софистами*.

Основным звеном в цепи передачи знаний была византийская система образования, переплетенная с христианской доктриной. Известно, что св. Василий ратовал за посещение детьми церковных школ, даже если они не собирались связывать свою жизнь со служением Богу, однако Собор 451 г. формально это запретил. Священники и монахи обучали сирот, преподавая Писание в основанных императорами специальных школах. Детей из семей среднего и высшего сословий обучали частные преподаватели, предпочитавшие проверенные временем греко-римские методы. К VI в. образование получала часть детей вольных людей, а в XI в., при Алексее Комнине, бесплатные школы открылись для всех детей, независимо от национальности и сословия.

Важным фактором византийской образованности явилось лингвистическое единство имперского официоза и античного научного наследия. Прозошедшее в V в. разделение конституций, использовавшихся в двух частях империи, способствовало тому, что византийцы стали больше говорить на греческом языке, а не на латыни. К VI в. император Ираклий объявил греческий официальным государственным языком, и уже через одно поколение латынь знали только юристы и медики. С VIII в. использовали три формы греческого языка. На просторечном новогреческом говорили необразованные

люди, люди образованные писали на аттическом диалекте древнегреческого, а его сложную версию использовали как разговорную.

Школы работали по единому учебному плану, основанному на христианских ценностях и новой церковной методологии. Детей сначала обучали чтению и письму. Затем следовали уроки грамматики, синтаксиса и введения в античную литературу. Каждому ученику надлежало выучивать по 50 строк из Гомера и читать комментарии к ним. Следующим шагом было освоение риторики, а в последний год обучения мальчикам преподавалась философия, естественные науки и *четыре вида искусства*: арифметика, геометрия, музыка и астрономия. Подготовка чиновников с VII в. шла по двум учебным планам, вызванным разделением должностей счетоводов и письмоводителей [90].

Процесс распространения в Средиземноморье рукописного знания на разных языках и с использованием различных материалов наглядно показан на иллюстрации 5 (см. цв. вкл.). Культура письменного слова, когда-то зародившаяся в Египте и Вавилоне и расцветшая в Греции и Риме, постепенно проникала в варварские земли и некоторые уголки Европы — Ирландию, Португалию, Восточные Балканы и Прибалтику. Монашество сыграло в этом решающую роль. Монастырские скриптории, где писцы копировали книги, имелись во всех библиотеках. При этом красоте рукописи уделялось столько же внимания, сколько точности текста.

Даже во времена турецкого владычества в Константинопольском патриархате существовала школа византийского богословия с преподаванием на греческом языке и большим штатом переписчиков. Многие, служа писцами, зарабатывали этим на жизнь (рис. 4.1). Все книги имели вид рукописей, поскольку Византия не знала механических способов воспроизведения текстов. Отсутствие механизмов для книгопечатания удивительно, ведь деревянные печати для переноса узоров на ткань и хлеб существовали. После изобретения книгопечатания турки не разрешали печатать нужные патриархату кодексы и библионы, но их можно было заказать в Венеции и перевезти в Константинополь морем.

Первая книга, произведенная в Византии, была написана на папирусе в виде свитка. Позднее папирус начал вытесняться пергаментом. (Замена материала была вызвана сокращением поставок папируса после захвата Египта мусульманами.) Пергамент, впервые изготовленный в Малой Азии в районе города Пергама, делали из теллячьих шкур. Отсюда его латинское



Рис. 4.1

Копист за работой.

Из трактата Жана Мело, 1456 г.
Национальная библиотека Франции,
Париж. На полке изображены очки

название — «веллум» (от *vitellum* — теленок или *vellus* — шкура). В XI в. из Китая доставляли хлопковую и льняную бумагу, затем ее начали производить в Багдаде, но до XIII столетия, пока византийцы не овладели искусством ее изготовления, бумага была редкостью.

Свитки перестали быть единственной формой книги с изобретением библиона. Он изготавливался из листов, которые складывались пополам, как в современной книге. Переплетенная книга, собранная таким образом, называлась кодексом (см. цв. вкл., ил. 6). Шесть сложенных пополам листов составляли тетрадь.

Акценты образования в области свободных искусств постепенно смещались в практическую сферу, поэтому текстуальный базис преподавания, в том числе в технических аспектах, скудел. В результате начали появляться справочники, руководства, сокращенные версии, предназначенные для передачи учащимся практических сведений с целью быстрого обретения навыков.

Ударом по светскому образованию стало закрытие в 476 г. публичных библиотек: учащиеся были вынуждены обращаться в монастырские библиотеки, где хранились в основном богословские сочинения [63].

Своего пика развитие просвещения в Византии достигло в IX–XI вв. Образованный и энергичный прелат Фотий формировал новое поколение интеллектуалов, а его современник Лев Математик развивал античную геометрию. Братья Кирилл и Мефодий создали кириллический алфавит для обращенных в христианство славян. Барда Кесарь основал университет Магноры, а в одном из университетов Константинополя преподавал выдающийся ученый и философ Михаил Пселл, известный трудами по естественным наукам и математике. Одно время он даже возглавлял византийский сенат, способствуя распространению образованности в высших кругах.

Лучшим учебным заведением считалась Патриаршая школа. Священники и миряне обучались раздельно — таким образом готовили высшее духовенство и кадры преподавателей. С X в. в школе коллективно стали обсуждаться образовательные методики: грамматики, риторики и диалектики собирались в притворе церкви, а медики и математики — в атриуме.

На вершине своей академической карьеры Фотий, впоследствии патриарх Константинопольский, преподавал в университете Магноры грамматику, риторику, богословие и философию. Он основал светские библиотеки, где имелся доступ к трудам Платона и греческих драматургов. Составил «Мириобиблион», в котором систематизировал сведения о грамматике, истории и литературе с древнейших времен.

В 1045 г. в Константинополе был открыт третий университет, готовивший специалистов для государственной службы и судопроизводства. Хотя особое внимание уделялось философии и праву, студенты начинали обучение с освоения грамматики, риторики и диалектики, затем изучались арифметика, геометрия, музыка и астрология.

Восточное влияние, привнесенное в столицу Византии персидскими и монгольскими учеными, и западные идеи латинян возродили в обществе творческую активность. Один из представителей этого периода — Феодор Метохит (1270–1332), философ-гуманист и видный ученый. Он придавал большое значение математике и стремился отделить изучение астрономии от астро-

логии. Обладая энциклопедическим багажом знаний, Метохит способствовал развитию медицины, ботаники, зоологии и картографии.

Византийское отношение к просвещению было выражено Феодором II Никейским, который в период латинской оккупации Константинополя говорил: «Каковы бы ни были нужды войны и защиты, необходимо находить время на возделывание сада просвещения». Работы Платона, Аристотеля и лидеров неоплатонизма были доступны и непосредственно, и через комментарии. Хотя философские традиции вошли в противоречие с развитием византийского христианства, что вынуждало к множеству компромиссов, до полного подчинения философии и науки верховенству теологии дело не дошло. Стоит отметить, что обычным жанром школьных писаний были комментарии к античным текстам, использовавшие архаичную структуру и словарь классического периода, — это возводило барьер между школьной ученостью и языком рынка и улицы [18].

На протяжении тысячелетия после Александра Великого его азиатские территории (сегодняшние Сирия, Ирак и Иран) были плодородной почвой для возникновения религиозных течений: зороастризма, христианства, манихейства, боровшихся друг с другом за новообращенных. Все три религии основывались на священных книгах и потому культивировали грамотность и обучение. Борьба на почве теологии привела к конфликту, схизме, осуждению, двум церковным соборам и, в конечном счете, к миграции несториан на теологически дружественную территорию. В Низибисе, христианском городе восточнее границ Персии, несториане основали центр высшего теологического образования с программой, включавшей труды Аристотеля по логике, которым они следовали как важным теологическим аргументам. Позже Низибис стал центром переводов теологических и философских текстов с греческого языка на сирийский. Именно отсюда в последующем столетии несториане управляли персидским христианством и влияли на интеллектуальную жизнь Персии (рис. 4.2). Влияние их достигло такого могущества, что надолго привило персидской элите вкус к греческой культуре. Это прояви-

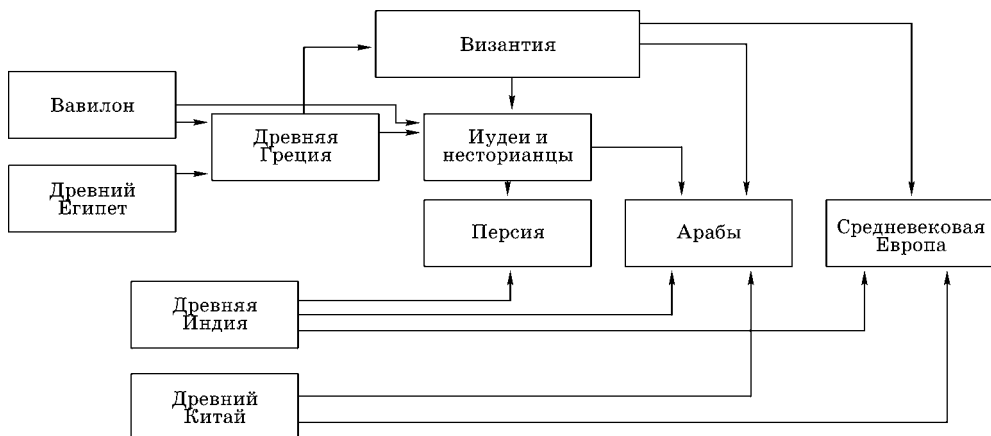


Рис. 4.2

Схема передачи научных знаний в архаичный, античный и средневековый периоды

лось в том числе и в приглашении около 531 г. персидским царем Хосровом I философов из Афинской академии, закрытой декретом византийского императора Юстиниана. Хосров II также был знаком с платонической и аристотелевской философией и заставлял переводить для себя греческих философов. У него были влиятельный врач-наблюдатель из несториан и две христианские жены.

В Византии уделяли внимание сохранению античного философского и научного наследия, а на латинском Западе начиная с XII в. пытались усвоить лавину новых сведений. Интеллектуальные достижения переносились с Востока на Запад.

Византия передала Западу несколько подлинных сокровищ: критику Аристотеля от Иоанна Филопона, гербарий Диоскоридов, птолемеевскую географию и астрономию [260], [384].

4.2. ВИЗАНТИЙСКАЯ ОПТИКА

В византийскую интеллектуальную среду попали представления о зрении из древнеиндийских памятников, возник интерес к греческим теориям об истечениях из глаз.

Вслед за Птолемеем Дамиан из Лариссы (IV в.) защищает теорию зрительных лучей, исходящих из глаз. Он ссылается на молнии, вспыхивающие в глазах, и светящиеся ночью глаза животных. Труд Дамиана «Оптические гипотезы» содержит цитаты из «Оптики» Птолемея и экспериментальные доказательства прямолинейности распространения зрительных лучей [162].

Комментатор Аристотеля и собиратель античных материалов по геометрии и оптике Симплиций (VI в.) разбирает элементарные движения тел и распространение света по Евклиду и Птолемею. Другой церковный авторитет VI в., Олимпиодор, занимавшийся светским и религиозным образованием, метафизикой и метеорологией, обращается к трудам Аристотеля и сведениям Птолемея о том, что радуга состоит из семи цветов. Большинство авторов цитируют из Птолемеевой «Оптики» тексты первой и пятой глав, утерянные до арабского перевода, из которых собрана дошедшая до нас латинская версия.

Оптика по-гречески не была включена в схему свободных искусств, хотя архитектор Витрувий считал необходимым ее изучение для законченного образования, а его современник Геминий включал оптику в математические дисциплины, имеющие дело с чувствами [122]. Приемы линейной перспективы употреблялись при съемках местности. В основе искусства скенографии лежали линейная и цветовая перспективы. Знания по катоптрике были необходимы для создания оптических эффектов в жилищах и театрах. Но это были скорее исключения, чем правило.

Оптика в образовательной программе считалась дополнительной дисциплиной.

Византия периода расцвета оставила великолепные примеры технических, архитектурных и художественных достижений. Многие из них связаны с вопросами прикладной оптики. В VII в. византийцы изобрели мощное оружие для отражения нападений арабов — *греческий огонь*, считающийся

прообразом гранаты. В его состав изобретатель Каллиник из Гелиополиса включил серу и селитру. Емкости с огнем бросались в неприятеля с помощью катапульты, что помогло флоту положить конец атакам арабов. Греки использовали такой огонь при отражении атак русско-варяжских войск. В XIV в. он был вытеснен изобретением пороха и пушки [90].

Глава первого константинопольского университета Лев Математик изобрел систему световой сигнализации, передававшую сообщения о важнейших событиях в государстве. Основным звеном системы был маяк, построенный рядом с императорским дворцом на острие треугольного выступа между бухтой Золотой Рог и проливом Босфор. С именем Льва Математика связывают и изобретение механизмов, приводимых в движение струей воды, применение букв как алгебраических символов, составление медицинской энциклопедии.

Византийский ученый VI в., армянин по происхождению, Анфимий из Тралл оставил след в математике, архитектуре и скульптуре. Он участвовал в строительстве грандиозного собора Святой Софии, ставшего оплотом христианской церкви (неслучайно обязанности библиотекаря Софийского собора выполнял сам великий хартофилакс — императорский хранитель документов).

Здания с круглым основанием и куполом, который символизировал небеса, не подходили для христианских обрядов, поскольку не имели фокусной точки для алтаря. Эксперименты с переходом от квадратного основания к круглому куполу были неудачными до тех пор, пока византийцы не объединили архитектурные изобретения сирийцев (паруса — треугольные секции каменной кладки с закругленными сторонами, вставляемые по углам квадратного здания) и подпружные арки персов. Результат — крестообразная форма ориентированных на восток храмов, в пересечении перекладин — квадратный центральный неф и купол со световым барабаном, позволяющий добиться с помощью солнечных лучей изумительных по красоте оптических эффектов (см. цв. вкл., ил. 7).

Собор Святой Софии с его огромным небоподобным куполом, богатым убранством и пышными литургиями производил неизгладимое впечатление на верующих. Строительство его началось в 532 г. и велось с таким мастерством и тщательностью, что здание выдержало землетрясения и бомбардировки на протяжении полутора тысячелетий. По форме это трехнефная базилика, центральный неф которой шире боковых — он имеет 73 м в длину и 68 м в ширину.

Гордостью собора является его центральный купол — самый высокий купол в мире, сохранившийся до наших дней.

Спустя 400 лет после осады Сиракуз римлянами в сочинении «О чудесных механизмах» Анфимий рассмотрел оптические свойства зеркал Архимеда. Он заключил, что «при помощи многих плоских зеркал можно отразить в одну точку такое количество солнечного света, что его объединенное действие вызовет возгорание. Опыт можно провести при участии большого количества людей, каждый из которых будет держать зеркало в нужном направлении. Чтобы избежать суматохи, удобнее применять раму, в которой закрепить 24 отдельных зеркала с помощью пластин или на шарнирах. Под-

ставляя механизм солнечным лучам, надо правильно установить центральное зеркало, а потом и остальные, быстро и ловко наклоняя их так, чтобы солнечные лучи, отраженные зеркалами, направлялись в ту же точку» [302]. Устройство Анфимия стало прообразом гелиоконцентратора, используемого в современной энергетике.

Анфимий доказал, что вогнутые зажигательные зеркала воспаляют предметы вследствие способности собрать множество солнечных лучей в одну точку; а лучи, выходящие из одной точки, соединяются снова в одну точку лишь при эллиптической форме зеркальной поверхности. В связи с этим вспоминается не только легенда об Архимеде, но и работа Диокла о зажигательных зеркалах. Анфимий явился продолжателем античной традиции. Поскольку качественных вогнутых зеркал большого размера у него не было, он пробовал зажигать отдаленные предметы сложной системой плоских зеркал.

Трудно сказать, где в этой истории с зажигательными зеркалами правда, а где вымысел. Интеллектуальные достижения Византии и Персии периода Средневековья на поверку нередко оказываются преувеличенными.

Один из распространенных мифов связан с городом Гундишапуром на юго-западе Персии. В VI в. несториане превратили его в интеллектуальный центр, основав то, что некоторые историки окрестили университетом. Предположительно там была медицинская школа с программой, основанной на александрийских учебниках, и госпиталь, созданный по византийским образцам для помощи врачам в изучении греческой медицины. Гундишапур играл ключевую роль в переводах греческих учебных пособий на восточные языки и мог быть каналом проникновения греческой науки к арабам. Однако современные исследования дают менее оптимистичную картину. Убедительных свидетельств существования в Гундишапуре медицинской школы нет: скорее, там были теологическая школа и лазарет. Безусловно, Гундишапур мог стать местом интеллектуальных достижений в медицинской практике, но маловероятно, что он был главным центром медицинского образования или переводческой деятельности. Но если вся эта история и не реальна, она лишней раз подтверждает, что нет дыма без огня. Несторианское влияние, даже если оно и не фокусировалось в Гундишапуре, играло важную роль в передаче греческого учения в Персию и мусульманскую империю. Среди переводчиков и врачей было много несториан, и в IX в., после падения Персии под ударами исламских армий, в практической медицине в Багдаде доминировали христиане [63], [130].

Все образовательные источники, доступные в Низибисе, Гундишапуре и других центрах, были преимущественно греческими, но сам язык обучения — нет. Учеба велась на сирийском (диалект арамейского, язык общей лексики Ближнего Востока) и была адаптирована несторианами в соответствии с их грамотностью и языком литургии. Учебные программы требовали перевода греческих текстов на сирийский, и начиная с 450 г. он был сделан в Низибисе и других учебных центрах.

Работы Аристотеля по логике и комментарий Порфирия к ним стали наиболее востребованными источниками. Медицинская литература, элементарные математические и астрономические труды в конечном итоге также были переведены на сирийский.

4.3. ОПТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИЗАНТИЙСКОГО ИСКУССТВА

Не должно быть никаких украшений,
только пропорции.

Св. Бернар Клервоский

Витрувий побуждал архитекторов к овладению премудростями оптики. Анфимий в совершенстве овладел техникой использования естественного и искусственного освещения для создания оптических эффектов, поражающих сознание верующих. Вместе с Исидором из Милета он поставил купол в соборе Святой Софии на круговой световой барабан, разместив важные элементы церковного интерьера в местах падения прямых солнечных лучей (см. цв. вкл., ил. 8). Конструкции и принципы размещения люстр и светильников этого собора стали примерами для сотен христианских храмов. Как мать православных церквей, Святая София повлияла на выбор религии многими народами и открыла объятия властителям и святым из молодых православных государств. Например, в храме была установлена икона святых братьев Бориса и Глеба.

С момента зарождения государственности византийцы украшали интерьеры церквей настенной мозаикой. Требовалось большое умение, чтобы с помощью кусочков стекла достичь такого же эффекта, как с помощью кисти. Это искусство было известно в Риме, где первые церковные мозаики располагались в апсидах. В VI в., когда были выполнены фрески в Равенне, этот вид искусства выделился в самостоятельный. Его техника состояла в закреплении стеклянных кубиков нужного оттенка и размера в сырой штукатурке. Стекло поступало к мастеру в виде пластин, из него изготавливали кусочки нужной величины и формы. Цветовая палитра была чрезвычайно богатой. Византийские мастера делали мозаичные изображения столь искусно, что они отражали свет, создавая живой и сверкающий образ. Анфимий добился поразительных эффектов в убранстве собора Святой Софии: мозаики храма словно парили в волшебном сиянии, поскольку стеклянные кубики укреплялись под различными углами к поверхности стены и отражали лучи во всех направлениях.

От росписи стен оставался один шаг до росписи стеновых панелей. И византийцы, взяв за основу погребальные портреты Египта, создали *икону*. Дошедшие до нас средневековые иконы относятся к высшим достижениям христианского искусства. У греков слово «икона» означает «образ» — так назывались вызывающие зрительное ощущение субстанции, отлетающие от предметов и попадающие в глаз. Во всем мире слово «икона» вошло в употребление для описания живописного изображения на деревянных досках сцен и святых из Евангелия. Современная наука об оптических изображениях — *иконика* — вернула слову его забытое значение, но на новом этапе познания.

Церковь всегда подчеркивала, что иконы — всего лишь изображения святых. Выказываемое почитание икон вызывало опасения в возрождении идолопоклонства и привело к конфликту иконоборцев и иконопочитателей. Вопрос о святости рукотворных икон или их тождественности идолам был от-

голоском дискуссий по метафизике света. Философские трактаты того времени содержат подобные рассуждения, причем авторы ссылаются на Священное Писание, богословские труды и греческие рукописи по оптике, катоптрике и диоптрике. Проходившее с переменным успехом соперничество иконоборцев и иконопочитателей не только отражало боязнь вновь впасть в грех поклонения идолам (термин *эйдолы* также использовался в античных теориях зрения), но и соотносилось со спорами о направленности зрительных лучей — от предмета к человеку или наоборот.

Почитателей икон называли иконопоклонниками, и им в конце концов удалось получить большую поддержку в обществе. В 843 г. Михаилу III пришлось разрешить использование изображений в религиозном искусстве.

Возвращаясь к византийским мозаикам, византийскому и цветному стеклу, отметим, что к VI в. еврей-стеклодувы открыли в Константинополе мастерские и выпускали стеклянные масляные лампы, в частности для собора Святой Софии. Но большую часть их продукции составляли листы, маленькие квадратные, прямоугольные и восьмиугольные стекла для окон и цветные стеклянные палочки, из которых делали кубики для мозаики. К XI в. византийцы начали стеклить окна в церквях цветным стеклом в свинцовых рамах и раскрашивать их, чтобы получать изображения, похожие на те, что позднее рисовали на Западе. Это были прототипы готических витражей. Таким образом, приоритет создания витражей — волшебного сплава оптических эффектов и искусства художника — должен быть отнесен к Византии, хотя расцвет витражной техники пришелся на позднее Средневековье в католической Европе.

НАЧАЛА СХОЛАСТИКИ

Не столь прекрасно знать латынь,
сколь постыдно ее не знать.

Цицерон

5.1. КАРОЛИНГСКОЕ ВОЗРОЖДЕНИЕ. АЛКУИН И ЭРИУГЕНА

Конец VIII в. характеризуется всплеском научной активности в Европе, что традиционно связывается с фигурой Алкуина, правлением Карла Великого и усилением культурного влияния Византии. В 768 г. Карл наследовал франкское королевство, включавшее в себя части современной Германии, Франции, Бельгии и Голландии. К концу жизни он так расширил королевство, называемое Каролингской империей, что оно охватывало всю континентальную Западную Европу до Испании, Скандинавии и Южной Италии. Это была первая со времен распада Римской империи попытка создать централизованное управление в Западной Европе.

Подъем культуры в IX в. называют Каролингским возрождением. Европейцы того времени находили в образах античных зданий отражение своих вкусов и переносили в Аахен и Тионвилль архитектурные подражания, а подчас подлинные колонны и капители античных зданий Равенны и Рима. Стилизовались письмо, поэтический метр, рубрики и заглавные буквы каролингских манускриптов. При дворе императора возникла дворцовая академия, прививавшая его окружению вкус к литературе и наукам. В капитулярии «О необходимости занятий науками» Карл Великий утверждал, что королевская власть должна понимать важность знания и защищать его престиж. Сам Карл изучал чужие языки, из которых «латынь он усвоил почти как свою речь, по-гречески же только читал». Император занимался грамматикой с Петром Пизанским, у Алкуина учился риторике, диалектике, астрономии. В ходу были подражания Вергилию и исторические писания. Планы строительства империи требовали реакции на прошлое. По скрипториям монастырей лежали пасхалии, рассчитанные Бедой Достопочтенным, и летописи, близкие к «мысли государевой» [24].

Для распространения религиозной образованности Карл создавал кафедральные и монастырские школы (рис. 5.1). Во многие из них он назначал епископов и аббатов, способных осуществлять образовательную реформу. Важным шагом было выдвижение советником и директором этих учреждений



Рис. 5.1
 Монастырская школа времен
 Карла Великого.
 Иллюстрация из манускрипта XV в.
 Муниципальная библиотека, Труа [324]



Рис. 5.2
 Алкуин учит Карла Великого
 и его сына Пипина.
 Иллюстрация из кодекса X в.
 Архив папской библиотеки,
 Ватикан [324]

Алкуина (ок. 735–804 гг.), главы кафедральной школы английского Йорка. Последние годы Алкуин был аббатом монастыря Святого Мартина в Туре, ставшего одним из научно-образовательных центров Европы. Продолжатель традиций ирландской учености Беды, Алкуин стал главной фигурой круга ученых, интересовавшихся теологическими, научными и философскими проблемами.



Алкуин был родом из Йорка в Нортумбрии, где преподавал Экбер, ученик Беды Достопочтенного. «Одних он учил правилам грамматики, на других изливал волны риторики, этих готовил к битвам, тех к песням... Он объяснял гармонию неба, затмения Луны и Солнца, движение моря, землетрясения, природу человека и животных, комбинации чисел и различные их формы. Он учил вычислять наступление Пасхи и раскрывал тайны Священного Писания» [199]. Алкуин, вооруженный этой мудростью, познакомившись в Италии с Карлом, призвал на него впечатление. Карл пригласил его к себе на долгие годы, назначив на видный пост аббата Турского монастыря, а еще раньше — учителем самого Карла, его семьи и молодежи дворцовой академии (рис. 5.2).

Метод преподавания Алкуина заслужил признание и стал общепринятым. Это был *метод вопросов и ответов*, когда в заготовленном учебнике знатные ученики англосаксонского аббата якобы засыпали его хитроумными вопросами, а мудрый аббат удовлетворял их интерес реальными или символическими ответами: «Что такое письмо? — Хранитель истории. — Что такое слово? — Предатель мысли. — Кто рождает слово? — Язык. — Что такое язык? — Бич воздуха. — Что такое воздух? — Хранитель жизни. —

Что такое жизнь? — Радость счастливых, печаль несчастных, ожидание смерти. — Что такое человек? — Раб смерти, гость места, проходящий путник». Подобных учебников в наследии Алкуина осталось много [24].

Алкуин обладал не только обширными познаниями, но и даром педагога, он владел методами обучения латыни, разработанными ирландскими и англосаксонскими предшественниками.

Наиболее древние копии римских текстов относятся, как правило, к IX в. — эпохе каролингских книжников. Каролингская реформа образования была основана на возрождении древнеримской модели семи свободных искусств: квадривиума и тривиума. С учетом актуальности гуманитарного знания квадривиум в начале Каролингского возрождения не играл большой роли. Однако эта модель стала основой для последующего интеллектуального развития [11]. Это напрямую связано с концепцией сохранения и передачи знаний. Друг Алкуина Теодульф, епископ Орлеанский, а позже — аббат Флерийский, писал: «Священники должны открывать школы в городах и деревнях. Ежели кто из прихожан обращается к священнику с просьбой обучить грамоте сынов его, тому не пристало отказывать от благородного дела... Священники, взявшись за это, не должны просить платы и могут принимать от родителей учеников лишь малые дары».

Важным интеллектуальным вкладом каролингского периода было коллекционирование и копирование книг классической традиции. Под руководством Алкуина они собирались, исправлялись и копировались, включая Священное Писание, труды Отцов Церкви и классических авторов. Восстановление и копирование книг, а также имперский эдикт Карла, утвердивший статус кафедральных и монастырских школ, стали вкладом в распространение образования на латинском Западе, которое заложило основы будущей учености [218].

Знаменательным событием стала реформа письменности, придавшая ей новое, более ясное, стандартизованное и изящное начертание, которое получило название *каролингский минускул*. В результате читать и писать стало легче. Это была первая общеевропейская письменность. В монастырях, королевских и епископских скрипториях шла усердная переписка рукописей. Алкуин предпринял новый шаг — обратил внимание на пунктуацию. Каролингская мастерская письма видела рождение каролингского минускула в сближении подвижного быстрого курсива и медленного *книжного* письма. Тогда же родилось среднее письмо, сочетавшее качества легкой читаемости и быстрого выписывания [24].

Вторая волна интереса к учености продолжила и углубила эти начинания, и период Каролингского возрождения продлился при Людовике Благочестивом и Карле Лысом. Проводниками его, помимо королевского двора, стали монастыри. Так, в новом Фульдском аббатстве в Германии учился Эйнхарт, а начиная с 822 г. его настоятелем стал Рабан Мавр.

Тема передачи знаний подразумевает скитания — из Афин в Рим, из Рима в Париж, Оксфорд и т. д., она связана с миром, где преобладает иудеохристианское представление о линейном времени, ведущем к *концу времен*. Передачу знаний иногда сравнивали с процессом, посредством которого Бог являл Себя и Свои тайнства в Ветхом и Новом Заветах.

Средневековые историки рассматривали развитие цивилизации в терминах *translatio studii*, современные видят этот процесс как последовательность возрождений: Каролингское возрождение, возрождение XII столетия, возрождение XV в. [32].

Несмотря на то что Каролингское возрождение было направлено в первую очередь на повышение грамотности клириков, оно затронуло и науки о природе. Это видно на примере астрономических штудий, преследовавших религиозные и мирские цели. Хранение времени как аспект прикладной астрономии было необходимо для регулирования обязательных повинностей, дневных ритуалов в монастырях, молитв и другой общественной деятельности. Это сопровождалось ссылками на положение Солнца в течение дня или определенных звезд ночью. Более требовательными к астрономическому знанию были составители календарей, представленные наукой, названной *computus* (составление отчетности). Она разрабатывалась по правилам определения дат Пасхи и других религиозных праздников, которые должны были праздноваться в один день во всем христианском мире. Пасха, наиболее важный из святых дней, обычно отмечалась в церквях Западной Европы в первое воскресенье после первого полнолуния вслед за весенним равноденствием. Эта дата определялась заранее, чтобы успеть сделать приготовления. Расчет пасхалий был серьезным вычислительным упражнением при составлении календарных таблиц.

Средневековая интеллектуальная традиция подразумевала появление новых наук — новых не по названию, а по сути. Они возникали на фундаменте античных, но имели христианскую специфику. Помимо календарной *computus*, к этим наукам относится и *Перспектива* как развитие античной оптики с акцентом на визирование, стереографическую проекцию и религиозно-метафизические аллюзии.

Интерес к астрономии возник при каролингском дворе благодаря книгам средневековых авторов. «Свадьба Филологии и Меркурия» Марциана Капеллы и комментариев Макробия к Цицероновскому «Сну Сципиона» стали пособиями по свободным искусствам. Другие книги принадлежали Кальцидию (комментарий к платоновскому «Тимею», IV в.) и Плинию Старшему. Это были авторитетные источники, которые часто копировались и сопровождались глоссами (пояснениями непонятных слов и выражений). Они предлагали основы космологии и планетарной астрономии, среди которых обсуждались такие темы, как зодиак, эклиптика, планетные станции и ретроградные движения, последовательность планет в пространстве, ближайшие и отдаленные точки орбиты планет, вариации планетных широт, восходы и заходы, затмения, Млечный Путь, размеры Земли, климатические зоны, температурные зоны для обитания и т. д. Все источники были едины во мнении о шарообразности Земли (Марциан приводил вычисления ее радиуса Эратосфеном), а также в том, что южные температурные зоны обитаемы (существование антиподов, для которых верх и низ меняются местами). Один отрывок из Марциана был посвящен последовательности расположения в пространстве небесных тел (Луна, Солнце, Меркурий и Венера). В нем утверждалось, что пути Меркурия и Венеры «ни в коем случае не могут вращаться вокруг Земли, но их действительные более широкие круги распола-

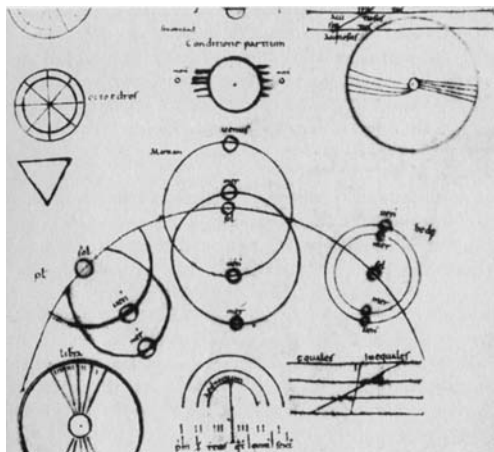


Рис. 5.3
Представления Марциана Капеллы
о вращения Меркурия и Венеры
вокруг Солнца.
Иллюстрация из манускрипта IX в.
Национальная библиотека Франции,
Париж



Рис. 5.4
Портрет ирландского ученого
Иоанна Скота Эриугены.
Начало XV в.
Из собрания
Национального музея
Прадо, Мадрид

гаются вокруг Солнца» (рис. 5.3). Это явилось интуитивным предсказанием гелиоцентричности Солнечной системы [271].

Ничего нового в науке каролингские ученые не создали. Роль этого периода состояла не в новациях, а в восстановлении и сохранении классической традиции, установлении регулярного образования, расширении грамотности, а в области астрономии — в попытках геометрического представления планетных движений.

Все это стало фундаментом для действительного восстановления классической традиции в XII и XIII вв.

Преимущества каролингской системы образования проявились в достижениях Иоанна Скота Эриугены (ок. 810 — ок. 877 гг.) [283]. Ирландский ученый, призванный ко двору внука Карла Великого Карла Лысого, он был широко известен на латинском Западе (рис. 5.4).

Эриугена имел много достоинств: острый, оригинальный ум и редкий лингвистический талант. Он использовал знание греческого языка для перевода ряда теологических трудов. Его собственный трактат «О природе» — попытка всестороннего рассмотрения сотворения вещей — содержал хорошо аргументированную и талантливо изложенную с христианских позиций натурфилософию. В связи с обязанностями преподавателя Эриугена написал комментарий к «Свадьбе Филологии и Меркурия» — пособию Марциана Капеллы по свободным искусствам [267].

5.2. ОТТОНОВСКИЕ ВРЕМЕНА. ПЕРВЫЕ ГОРОДСКИЕ ШКОЛЫ

В IX–X вв. Европа стала жертвой набегов: ее опустошали викинги, венгерские племена и мусульмане. Но она не погрузилась в хаос — брошенные Алкуином семена знания дали побеги.

Кристофер Доусон отмечал: «Последними островками интеллектуальной жизни среди волн варварских нашествий были европейские монастыри. Хотя на первый взгляд монашество кажется плохо приспособленным для противостояния войне, хаосу и беззаконию, на самом деле оно обладает поразительной способностью к выживанию и возрождению». Варвары могли сжечь 99 монастырей из 100, убить или изгнать монахов, но достаточно было одного выжившего монаха, чтобы восстановить традицию. Руины монастыря возрождали к жизни новые насельники, продолжая прерванную традицию, следуя тому же монастырскому правилу, служа ту же литургию, читая те же книги и думая так же, как их предшественники. В эпоху св. Дунстана монастырская культура вернулась из Флери и Гента в Англию и Нормандию спустя столетие после того, как была там уничтожена, а спустя еще сотню лет нормандские и английские монастыри вновь стали яркими звездами на небосклоне Запада [11].

Между 950 и 1050 гг. на всем пространстве христианского мира происходил экономический рост. Почти все земли, особенно Италия и Галлия, стали свидетелями перестройки церковных зданий; производилось больше строительных материалов, изготавливались новые измерительные и строительные инструменты. Материальная деятельность и оживление общественных отношений проникли в сферу культуры. Появились компендиумы — зеркала: моральные, этические, технологические, материальные и натурфилософские. Был создан глаголический алфавит, цивилизовались скандинавы, венгры и славяне. Возникло понятие «Европа».

Термин «оттоновские времена» стал синонимом если не очередного возрождения, то духовного и интеллектуального подъема. Здесь сказались влияние византийской культуры, поскольку связи Запада с Востоком укреплялись.

Женитьба Оттона II на византийской принцессе Феофано сопровождалась десантом восточноевропейских царедворцев, православных мыслителей, художников и мастеров-ремесленников. Произошло обогащение Европы мастерами оптических ремесел: ювелирами, мозаичистами, витражистами, стекольщиками и стеклодувами. Внук Оттона Великого Оттон III, коронованный в Риме в 983 г., воспринимался как предвестник прекрасного будущего для христианского мира. Став императором в три года, он умер в двадцать один, в 1002 г. Юный император был так блистателен и одарен во всех областях, что ему дали прозвище Чудо мира. В Риме он получил блестящее образование. «Эпоха Феофано» длилась более ста лет, испытав перешедшее через Рейн и Дунай влияние ирландцев и англосаксов.

Прогресс научной мысли этого периода связывают с именем Герберта Орильякского (ок. 946–1003 гг.).



Нищий мальчик-сирота из Аквитании, ученик школы при Орильякском монастыре, Герберт уже в отроческом возрасте изумлял товарищей редкой одаренностью, а духовное начальство пугал дерзостью мысли, смелостью высказываний. Желая отделаться от трудного воспитанника, аббат заинтересовал им патрона монастыря графа Барселонского Пореля. Тот направил юношу в один из испанских университетов — предание колеблется между Севильей и Кордовой, отмечая, что профессорами в этой школе были арабы. В Каталонии,

перенимая знания у мусульман, Герберт изучал арифметику, геометрию, музыку и астрономию. Он возвратился из Испании в кафедральную школу Реймса на севере Франции, сначала как студент логики, а затем как преподаватель. Из Реймса переехал на север Италии и стал архиепископом Равенны. Герберт придумал грандиозный план расширения христианской части Европы за счет славян.

Познакомившись с Гербертом в 970 г., Оттон I сделал его аббатом Боббио, воспитателем своего сына, главным оратором знаменитого диспута по философии в Равенне. Другой ученик Герберта, Оттон III, способствовал его назначению архиепископом Равенны, а в 999 г. Герберт при поддержке императора стал папой под именем Сильвестра II. Так ученость и слава Герберта «осияли оттоновский ренессанс» [24]. Герберт говорил: «Праведный человек живет верой, но хорошо, когда его вере сопутствует знание». Придавая значение развитию в людях способности к рациональному мышлению, он писал: «Господь одарил людей, дав им не только веру, но и знание. Те, у кого нет, зовутся глупцами».

В 997 г. император Священной Римской империи Оттон III смиренно просил Герберта о помощи: «Я невежда, моим образованием никто не занимался. Я прошу вас помочь мне. Исправьте мои ошибки и научите меня правильно править империей. Помогите мне преодолеть мою саксонскую неотесанность и пробудите во мне то, что я унаследовал от моих греческих предков. Разъясните мне, пожалуйста, тот учебник арифметики, что вы прислали». Герберт откликнулся на эту просьбу. В ответном письме он заверил Оттона: «Как грек по рождению и римлянин по империи, вы можете претендовать на сокровища греко-римской учености. Тут, без сомнения, есть нечто Божественное». Герберт оставил ряд математических сочинений, но больше философских, литературных и исторических. Он явился предшественником Ансельма и Абеляра [218].

Стимулирование образования последовало сразу за перестройкой Европы в XI и XII вв. Типичная школа раннего Средневековья была монастырской, изолированной от мирской суеты и направленной на определенные теологические потребности. В XI и XII столетиях, со сдвигом людской популяции в города, возникают городские школы различных типов, которые постепенно становятся главной образовательной силой. Среди городских школ, появившихся в это время, были кафедральные, церковно-приходские, а также публичные школы, первичные и вторичные, не связанные напрямую с нуждами церковных обрядов, но открытые каждому, кто захотел получить образование [125], [153], [285]. Образовательные цели новой городской школы были шире, чем монастырской. Учебная программа изменялась от школы к школе в соответствии с видением руководителя. Обычно она ориентировала куррикулум на удовлетворение практических нужд тех учеников, которые должны были продвигаться вперед, на лидирующие позиции в церкви и государстве. Даже кафедральные школы, которые были схожи с монастырскими в достижении исключительно религиозных целей, базировали свой куррикулум на более широкой концепции уровня преподавания, превышающего собственно теологическое образование. Если образовательные амбиции мастера или его студентов выходили за рамки кафедральной школы,

они имели возможность отделиться от кафедры и действовать независимо от ее власти. Школы могли переезжать, следуя за харизматичным мастером [346]. Результатом было быстрое распространение куррикулума, основанного на логике, искусствах квадривиума, теологии, законоведении и медицине. Он стал культивироваться в городских школах, в отличие от монастырских. Новые школы умножались числом и размерами; лучшие «испускали ауру интеллектуального возбуждения», вовлекавшую наиболее способных учеников в свою орбиту [11].

Во Франции некоторые из наиболее сильных школ были присоединены к кафедральным в тех регионах, которые в IX в. оказались затронуты каролингскими реформами. Лидером вплоть до XI и XII вв. был Лион с замечательной кафедральной школой, существовавшей с 850 г., и хорошей репутацией в области теологии. В XII в. школы Шартра, Орлеана и Парижа выделялись как лидирующие центры для изучения свободных искусств. Наиболее знаменитой из школ XII в. была кафедральная школа Шартра. Школы в окрестностях Парижа также выделялись в это время, предлагая обучение по многим предметам, включая свободные искусства. Вне Франции лидирующие школы менее подходили для объединения с кафедральными: Болонья стала знаменита предложениями легальных лекций (через частных преподавателей) в начале XII в., а в конце этого же столетия Оксфорд, не имевший кафедральной школы, заслужил репутацию центра изучения юриспруденции, теологии и свободных искусств.

5.3. СТАНОВЛЕНИЕ СХОЛАСТИКИ. АНСЕЛЬМ, АБЕЛЯР, ТЬЕРРИ

Под схоластикой в период ее зарождения подразумевали философию и теологию, преподаваемые в западноевропейских школах со времен Карла Великого. Ее отличительными чертами были основанность на христианских истинах и цель удержания философии и науки в границах религиозного влияния (философия — служанка богословия). В то же время схоластика утвердила понимание того, что Разум и Откровение не противоречат друг другу, хотя и отставала производность философского знания от религиозного. Философия может привести к *естественному свету*, но ей закрыты пути к достижению знания сверхъестественного, к *свету Божественному* [102].

Наука, по мнению схоластов, должна исследовать конкретные вещи и явления тварного мира, использовать знания для практических нужд и формулировать знание, ведущее к мудрости. При выполнении этих условий наука не противоречит теологии, как знание не противоречит вере.

Одной из ключевых проблем схоластики стало взаимоотношение теологии, философии и науки. Споры на эту тему продолжались в течение нескольких столетий и свелись к тому, что теология стала водительницей философии и науки. Этимология слова «схоластика» восходит к греческому *схоластикос* — ученый (от *схоле* — школа). Как методология и религиозно-философское учение схоластика сформировалась на базе епископальных школ начального обучения. К ее основоположникам относят Алкуина, Эриугену, Ансельма и Абеляра.

Отцом схоластики считается Ансельм (1033–1109), аббат монастыря в Беке, позднее — архиепископ Кентерберийский. Его рациональный подход к рассмотрению теологических вопросов иллюстрирует трактат «Почему Бог стал человеком?», в котором рассматриваются рациональные основания для очеловечивания Бога. Для Ансельма диалектика была основным методом идеологического рассуждения. Развитый им подход подразумевал обращение к разуму и идею совместимости свободы совести и благодати. Схоластику он рассматривал как установление и обоснование согласия между Богом и человеком. Ансельм снабдил схоластику доказательствами существования Бога. Хотя большинству философов (включая Фому Аквинского) доказательства Ансельма не казались убедительными, его приверженность рациональному подходу сыграла свою роль в истории европейской мысли.

Ансельм разработал новый метод рассуждения и преподавания, послуживший прологом к чисто схоластическому обучению, воспринятому университетами: требовалось выстроить проблему, поставить вопрос (*questio*) и обсудить его, т. е. провести диспут (*disputatio*) между преподавателем и студентами. По словам Роберта Сорбонского, «познанным может считаться лишь то, что пережевано зубами диспутантов». В конце диспута преподаватель давал ученикам решение проблемы (*determinatio*). Это формировало дух критического анализа и методологического сомнения, которому многим обязаны наука и цивилизация Запада.

С Ансельмом дискутировал Пьер Абеляр (1079–1142), профессор, в течение десяти лет преподававший в кафедральной школе Парижа. В своих работах он защищал теологические позиции, которые современники считали опасными. Дважды он подвергался осуждению со стороны церковных авторитетов. В трактате «Да и Нет» Абеляр составил список противоречий, извлеченных из текстов Отцов Церкви. Он утверждал, что кажущиеся противоречия рождают вопросы и что главный источник мудрости состоит в неустанном и проникновенном вопрошании [11]. Абеляр использовал противоположные мнения для формулировки проблемы, которую подвергал философским исследованиям. По его мнению, дорога к вере лежит через сомнения. Стараясь поддержать веру рассудком, он писал, что «не желает быть философом, если это означает восстание против апостола Павла, и даже не хочет быть Аристотелем, если это означает оторвать себя от Христа». Он воспринимался более консервативными учеными, в частности Бернаром Клервоским, как пример опасного философского метода. То, что за Абеляром последовало множество студентов, подтвердило худшие опасения Бернара.

Исторически схоластика оказалась для науки периодом, важным не столько своим содержанием, сколько методологией и пропедевтикой. Метод, с успехом применявшийся Абеляром и получивший от него имя «Да и Нет», возбуждал умы свободной смелостью, призывами подойти к каждой вещи с различных сторон и даже с противоположных точек зрения. Известно восклицание последователя Абеляра Симона из Турне, который, представив ряд аргументов в пользу Святой Троицы, сходя с кафедры, воскликнул: «О Иисус, Иисус! Как я возвеличил твой закон. Однако, если бы лукаво захотел я его опрокинуть, то представил бы доводы еще более убедительные» [139]. Пользуясь оптической аналогией, можно сказать, что Абеляр призывал к полу-

чению объемного взгляда на вещи. Освещая предмет с разных сторон и используя «различные ракурсы внутреннего зрения», он подготавливал перспективистские взгляды конца Средневековья и начала Ренессанса. Автора методологии окрестили Новым Голиафом и дали имя Люцифера (Светоносца) — самой яркой звезды, восставшей против Творца [24].

Абеляр ссылаясь на Аристотеля, учившего подвергать сомнению любую мысль. Тот, кто сомневается, склонен к поиску, а кто ищет — обретает истину. В «Диалоге между философом, иудеем и христианином» он говорит: «Каков бы ни был предмет спора, разумное доказательство имеет больший вес, чем ссылка на целый список авторитетов». Сомнение Абеляра, ставшее сомнением многих схоластов, занимает важное место в европейском критическом духе [42].

В работах Ансельма, Абеляра и их современников заметно формирование конфронтации между верой и разумом. Иногда неосознанно Ансельм и Абеляр были вынуждены поднимать вопросы о том, являются ли рациональные методы, применимые в логике, натурфилософии и юриспруденции, допустимыми в теологии, и как должны разрешаться конфликты между разумом в греческой философии и откровениями истины в Библии? Возникновение подобных вопросов подвергало опасности интеллектуальное возрождение и устанавливало программу действий для философов и теологов XIII и XIV вв.

Натурфилософия, не занимая центрального места в школах XII в., все же извлекла выгоду из общей «интеллектуальной закваски». Получение магистерской степени требовало знаний латинской классики в натурфилософии — платоновского «Тимея» с комментариями Кальцидия, «Свадьбы Филологии и Меркурия» Марциана Капеллы, комментария Макробия к Цицероновскому «Сну Сципиона», «Вопросов природы» Сенеки, «О природе Бога» Цицерона, а также работ Августина, Боэция и Эриугены. Очевидной задачей было применение всей космологии и физики, собранной из трудов Платона и других античных мыслителей, для разъяснения Сотворения мира согласно христианской доктрине создания. От науки все ждали выполнения обязанностей служанки.

Задачу сочленения греческой науки о природе с христианскими догматами решал в том числе Тьерри из Шартра (ум. ок. 1155 г.), широко известный учитель, преподававший, возможно, и в Париже. Тьерри написал комментарий к шести дням Творения, в котором расположил содержание платоновской космологии (с включениями стоической натурфилософии из Аристотеля) в соответствии с библейским текстом. Одной из главных потребностей было объяснение последовательности Божественного креационизма, как он описан в Сотворении мира. Здесь Тьерри, как и многие мыслители до и после него, сталкивался с проблематикой метафизики света, различавшей свет чувственный, физический и свет Божественный, интеллигибельный.

По Тьерри Шартрскому, четыре элемента создавались Богом в первое мгновение времени. Все, что последовало, было естественным разворачиванием в порядке, присущем начальному акту Творения. Однажды созданный, огонь немедленно начал вращаться, благодаря своей легкости, которая не допускала покоя. Свет от огня осветил воздух, и возникло чередование светлого и темного времени суток — первый день творения. На втором круге

вращения огонь небес нагрел воду внизу, заставляя ее подниматься в виде пара до тех пор, пока он не повиснет над воздухом, формируя то, что в Библии названо «водами над небесным сводом» (второй день). Сокращение количества воды внизу за счет парообразования вызвало появление суши из морей (третий день). Дальнейшее нагревание воды над небесным сводом привело к формированию небесных тел, состоящих из воды (четвертый день). Наконец, нагревание земли и нижних вод вызвало рост растений, появление животных и человека (пятый и шестой дни). Этот натурализм был яркой особенностью натурфилософии XII в.

Прежде чем обратиться к следующему этапу развития европейских взглядов на природу физических, в том числе и световых, явлений, необходимо вернуться на Восток, где к этому времени заканчивался расцвет арабской учености. Начиная с XIII в. взгляды европейских ученых формируются под мощным интеллектуальным давлением переведенных на латынь трактатов мусульманских философов и мыслителей.

АРАБСКАЯ МУДРОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ ВОСТОКА

Можно привести верблюда на водопой,
но нельзя заставить его питься.

Мудрость жителей пустыни

Арабская экспансия VI–VIII вв. привела к образованию огромного государства — Арабского халифата, объединившего различные народы. Под властью халифов оказались Северная Африка и Кавказ, Пиренейский полуостров и Средняя Азия. Были завоеваны Персия, Месопотамия, Палестина, Египет и Сирия (рис. 6.1). Во все эти страны арабы принесли новую религию — ислам, а также общий язык и единую систему социально-экономических отношений. В год смерти Исидора Севильского (636) в битве при реке Ярмук арабы-мусульмане разбили византийскую армию и открыли себе дорогу в Сирию и Палестину. В 711 г. в Испании высадилось семитысячное войско

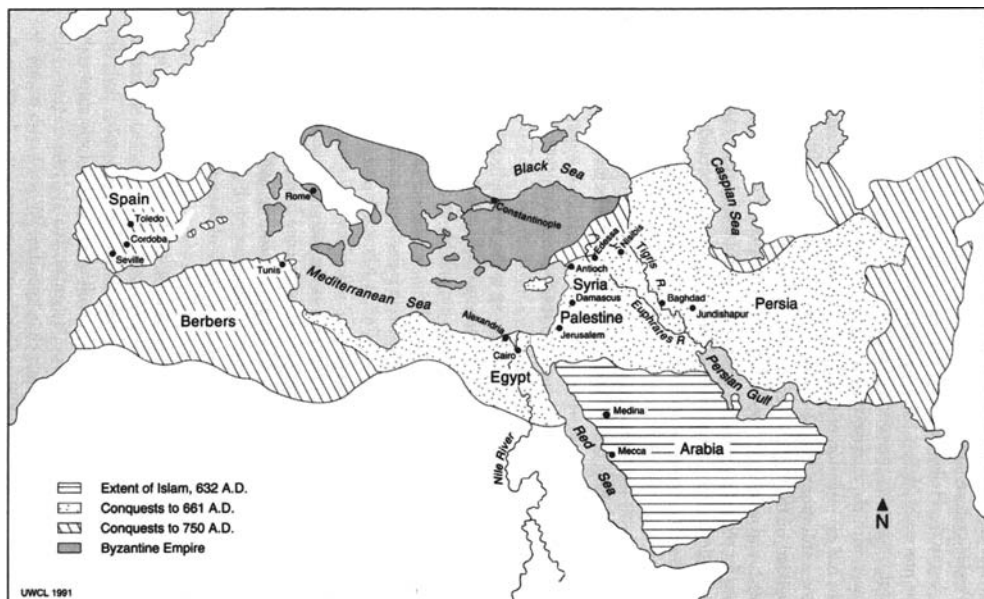


Рис. 6.1
Карта Арабского халифата [260]

берберского полководца Тарика ибн Зияда, которое переправилось через пролив, с тех пор носящий его имя (Гебир аль-Тарик, Гибралтар). К 718 г. с королевством вестготов в Испании было покончено [99].

Научные представления арабов доисламского периода были довольно примитивны, поскольку арабы-бедуины, населявшие территорию Аравии, вели в основном кочевой образ жизни. Справедливости ради заметим, что любой аравийский кочевник знал практическую астрономию и умел «читать небо» лучше среднего афинянина или римлянина. Но в остальных областях знаний доисламская культура арабов была невысока.

В покоренных областях завоеватели встретились с цивилизациями, превосходящими их в научном отношении. В Египте и Сирии хранились греческие рукописи по разным областям знаний. Часть греческой научной литературы незадолго до прихода арабов была переведена на сирийский язык. Астрономами сасанидской Персии был написан известный «Шахский зидж» [40]. Высоким уровнем отличались научные достижения Индии, северную часть которой завоевали арабы. По всей территории халифата были разбросаны еврейские общины, сохранявшие научные традиции. Халифат долго воевал с Византийской империей, контакты с которой также привели к обмену научными идеями. Все это способствовало развитию арабской науки. Различают три ее этапа: становление философской мысли в странах ислама (VI–VII вв.), научные достижения в Средней Азии, на Ближнем Востоке и в Египте (IX–XI вв.) и развитие исламской науки на Иберийском полуострове в XII–XIII вв.

Первый этап может быть разделен на две стадии взаимодействия мусульманских интеллектуалов с классической античной традицией. Сначала «греческая наука вошла в мир ислама не как оккупационная сила, но как приглашенный гость, чей опыт эллинистического мирозерцания был полностью, непосредственно и откровенно, усвоен членами мусульманского семейства» [321]. На второй стадии гость стал полноправным членом общества и вдохновителем достижений выдающихся ученых, которые восприняли представления классической традиции, применили их к нерешенным проблемам и откорректировали выводы. Это не было началом новой научной традиции, но явилось продолжением греческой классической традиции в «исламском духе и с исламским голосом».

На втором этапе становления арабской философской мысли пришло поколение, «прошедшее через мусульманское образование, пропитанное мусульманским учением и традицией». Результатом стала тесная интеграция греческих дисциплин с традиционным учением и исламской культурой. Логика внедрялась в теологию и законность, астрономия стала инструментом для определения времени ежедневных молитв в каждом конкретном месте, математика — частью торговой, гражданской и научной деятельности. На этой стадии классическая традиция ассимилировалась и натурализовалась. Гость стал членом семьи в роли служанки [321].

Третий этап характеризовался особой ролью Пиренейского полуострова в развитии арабской науки и передаче знаний от арабов европейцам. Здесь образовалось синтетическое государство и мультикультурное общество, вобравшее в себя полярные тенденции римских традиций, вестготское ариан-

ство, управляемые папой католические структуры, новые исламские законы и деятельность иудейской диаспоры.

Основные достижения мусульманских мыслителей лежали в области геометрии, тригонометрии, астрономии, медицины и музыки. По глубине проработки их содержание превосходило европейские дисциплины квадривиума. В том, что касалось натурфилософии и математики, арабы стали учителями европейцев. На этом этапе оптика вновь, как во времена Античности, была выделена в самостоятельную науку и включена в схему научной классификации. Это произошло во многом благодаря работам Альхазена. Открытия, сделанные им в Египте на рубеже X–XI вв., базировались на математических, астрономических и медицинских разработках многих научных школ от Хорезма до Кордовы.

6.1. ИСЛАМ И АНТИЧНОЕ НАСЛЕДИЕ.

VI–VII вв.

Нам не следует стыдиться одобрения и обретения истины откуда бы она ни исходила — пусть даже от далеких от нас племен и народов несопредельных с нами стран.

Для искателя истины нет ничего лучше самой истины, и не следует... свысока смотреть на тех, кто ее высказал или передал: истиной никого нельзя унижить — наоборот, истина облагораживает всякого.

Абу Юсуф аль-Кинди

Передача греко-эллинистических традиций исламу происходила разными путями. Несколько веков христианской истории лежат между золотым веком Александрии и расцветом ислама. В эти времена возникли научные центры в Константинополе, Антиохии, Кайруане, Эль-Джеме. На определенном этапе религиозный фанатизм привел к почти полному прекращению научной деятельности. Хотя во многих ранее языческих областях, попавших под влияние Византии, царила необразованность, христианские центры на Ближнем Востоке, где греки обучали сирийцев, способствовали передаче арабам христианства и знаний, накопленных предшествующими цивилизациями (рис. 6.2).

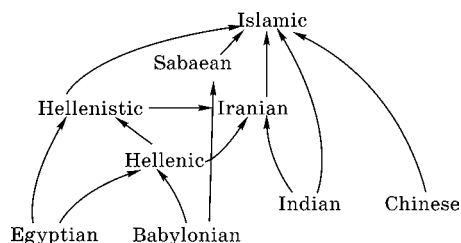


Рис. 6.2
Схема передачи арабам знаний, накопленных архаическими цивилизациями [279]

Математические и астрономические знания народы мусульманского Востока в значительной мере заимствовали у индийцев. Первым трактатом, переведенным с индийского на арабский, был астрономический труд Брахмагупты «Сиддханта». Во времена правления халифа аль-Мансура (754–775) в Багдад были доставлены из Индии два научных трактата — по астрономии и математике. Последний был использован аль-Хорезми в труде по алгебре, где фигурируют цифры, известные нам под названием *арабских*.

Постепенно на территории халифата распространялся ислам с его эклектическими включениями из христианства, иудаизма и политеизма. Была подготовлена почва для возникновения новой мусульманской культуры. Возникали научные центры, строились обсерватории, при дворцах, мечетях и медресе создавались библиотеки.

Наряду с *медресе* (букв. «место, где изучают») были созданы первые исламские университеты: в 755 г. в Кордове, через сорок лет — в Багдаде. Они предназначались в первую очередь для подготовки религиозных деятелей высшего ранга. Однако четкое различие между медресе и университетом провести сложно.

На первом этапе центрами изучения арабских наук, прежде всего филологии, стали основанные арабскими завоевателями города Багдад, Куфа и Басра. Научные труды в странах ислама в основном писались на арабском языке, игравшем на средневековом Востоке ту же роль, что и латынь в средневековой Европе. Персидский язык был в первую очередь языком поэтов, хотя сохранились трактаты по астрономии на персидском языке и некоторые научные сочинения на сирийском, согдийском и древнехорезмийском. Иногда это разделение приводило к курьезам: так, в энциклопедии Брокгауза и Ефрона поэту Омару Хайяму и математику и астроному Омару аль-Хайями посвящены отдельные статьи. Между тем стихи сочиняли и Бируни, и Авиценна, и ат-Туси, и другие исламские ученые [15].

Всякий образованный мусульманин — иранец или тюрк, житель далекой Андалусии или Индии — стремился овладеть языком священного Корана. Распространение арабского языка благоприятно сказывалось на развитии мусульманской науки, помогало общению между учеными. Языковое единство облегчало освоение античного наследия.

Труды греческих ученых переводились на арабский язык, объявленный государственным. На мусульманском Востоке он стал средством культурного и научного общения среди арабов, сирийцев, персов, евреев, хеттов и других народов халифата.

Центрами изучения иноземных наук были Александрия и Антиохия, Гундишапур, Харран и Эдесса, где процветали медицина, математика и астрономия.

Существовавшая к моменту арабского завоевания греческая медицинская школа в Александрии сохранилась и при арабах. В начале VIII в. она переехала в Антиохию, а в середине IX в. — в Харран. В Эдессе и Антиохии возникли колонии христиан. Греки и сирийцы, жившие в этих городах, как знатоки наук, медицины и философии выполнили важную миссию: многие из них после арабского завоевания стали придворными врачами, астрологами и заняли высокие должности. В Гундишапуре в период сасанидского господства возникла греко-сирийская медицинская школа.

В 751 г. после победы над китайским войском династии Тан в самаркандский плен попали мастера по изготовлению бумаги. К 800 г. это искусство проникло в Багдад, где бумага заменила дорогой пергамент. Изготовление бумаги в середине IX в. освоили в городах Ирака, Сирии, а позднее и Египта, что вытеснило папирус. Позже производство бумаги распространилось по странам Средиземноморья и Западной Европы [184].



В течение первого столетия халифата его подданные контактировали с образованными сирийцами и персами, которых использовали как секретарей и чиновников. Так началась эллинизация ислама. Этот процесс активизировался после 750 г., когда к власти пришла династия Аббасидов — потомков дяди пророка Мухаммеда. Они не намеревались оставаться в Дамаске, где было много сторонников свергнутых Омейядов. В 762 г. халиф аль-Мансур построил на реке Тигр новую столицу — Багдад, выбрав для нее место по географическим, стратегическим и астрологическим соображениям. Багдад соседствовал с бывшей Персидской империей, имевшей две традиции — религиозную зороастрийскую и гражданскую мирскую. Двор аль-Мансура в Багдаде не был знаменит благочестием, но поддерживал такой религиозный и политический климат, что слыл интеллигентным, космополитичным и толерантным.

Исламская империя постепенно трансформировалась, переходя от племенных законов к централизованному государству, требующему образованной администрации и чиновников. Такой штат трудно было набрать из аббасидов, и у халифов не было альтернативы привлечению образованных персов и христиан. Аль-Мансур пригласил многих ученых, которые переводили с сирийского, греческого, персидского и индийского на арабский. Сам он был образованным любителем философии и астрономии и даже воспитание своих сыновей поручил греческим учителям. При Абд-Алмелеке, резиденцией которого был Дамаск, ко двору также допускались греческие ученые: христианин Сергей и его сын Иоанн Дамаскин стали хранителями казны халифа. Внук аль-Мансура, третий аббасидский халиф Харун ар-Рашид, заставлял переводить классические сочинения и заботился об их распространении в списках. Триста ученых путешествовали за его счет по подвластным землям с научными целями [66]. При ар-Рашиде и его иранских советниках произошел подъем интеллектуальной жизни халифата. Их покровительство ученым и поэтам описано в новеллах «Тысячи и одной ночи». В подражание сасанидской медицинской академии в Гундишапуре Харун ар-Рашид основал в Багдаде Дом мудрости для перевода научной литературы на арабский язык и разработки проблем философии и естествознания. Около 827 г. седьмой аббасидский халиф аль-Мамун расширил Дом мудрости, привлек знатоков арабского и пехлеви, а также переводчиков и толкователей Аристотеля. Целый штат переводил на арабский язык греческие сочинения по математике, астрономии, медицине, астрологии и алхимии. Халиф снаряжал экспедиции в Византию на поиски произведений греческих ученых.

Желая противостоять зороастрийскому культурному проникновению, аль-Мамун стремился переводами греческих научных и философских сочинений уравновесить влияние иранского наследия. При аль-Мансуре, Харуне ар-Рашиде и аль-Мамуне освоение наследия индийцев, иранцев и греков приняло невиданный в истории размах [260].



Рис. 6.3
Переписчик из Багдада
за работой.
Иранская миниатюра
1287 г.
Библиотека Сулеймание,
Стамбул, Турция

В средневековых источниках сохранились изображения мусульманских переводчиков и летописцев, посвятивших себя делу распространения знаний. Так, миниатюра, приведенная на рисунке 6.3, украсила сборник трудов членов философского кружка «Братья чистоты», возникшего в Басре в X в. Входящие в сборник трактаты по математике, логике, естественным наукам, психологии и метафизике составляли своеобразную энциклопедию их учения. Однако взгляды «Братьев» противоречили ортодоксальным доктринам ислама, и большинство трудов членов кружка в XII в. было сожжено.

По прошествии столетий ислам ощутил возрастающую проблему восприятия иностранных наук. Ученые, проповедовавшие метафизику Платона и Аристотеля, вынуждены были защищать себя от теологической реакции лидеров исламской ортодоксии. Но это стало скорее исключением, чем правилом. Большинство философских и научных работ выполнялось в толерантных городских центрах, где ученые имели интеллектуальную свободу. Одних исламских мыслителей защищали влиятельные патроны, другие были учителями или гражданскими слугами. Работы по математике, оптике, астрономии и медицине «были благоприятны для теологии и демонстрировали практическую ценность» [182], [205].

Элементарное обучение в исламе было нерегулируемым и зависело от местных условий, возможностей и склонностей учителей. Типичные инструкции требовали сидения учеников полукругом вокруг учителя или рядами лицом к нему (рис. 6.4). Начиналось образование со школы письма, где предметами были чтение, письмо и каллиграфия.

Если ученик овладевал этими навыками, то продолжал программу, основанную на Коране, религиозных писаниях, поэзии и истории. Большое внимание уделялось развитию памяти.

Для дальнейшего образования были две альтернативы: медресе для изучения законов ислама и религиозных наук или частное обучение и самообразование. Медресе, основанные обычно на частных пожертвования, были призваны сохранять и защищать религиозное знание. В восточных регионах в позднем Средневековье возникли медресе с математическими науками в программе. Наиболее известно медресе при обсерватории в Самарканде, где изучались «Элементы» Евклида, «Альмагест» Птолемея, астрономические труды ат-Туси и аш-Ширази. Отсутствие постоянной структуры для высшего образования по естественным наукам надо иметь в виду при любых сравнениях судьбы классической тра-

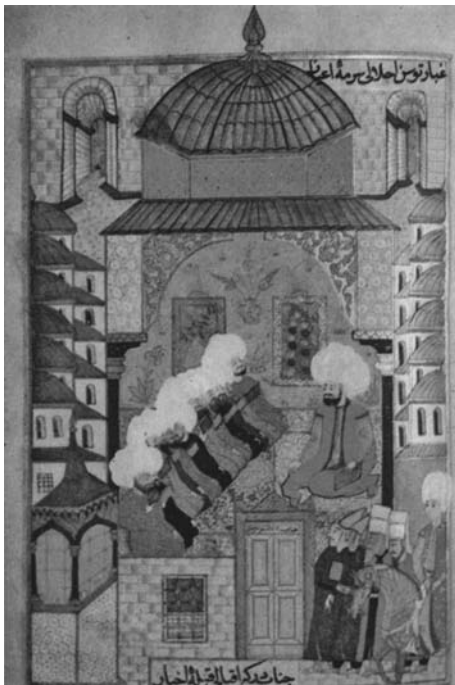


Рис. 6.4
Миниатюра, изображающая традиционную сцену обучения [279]

диции в исламе и Западной Европе после XII в., когда сложилась система университетского образования [253].

Арабская наука изначально приобрела вид комментариев и обнаружила некую несамостоятельность. Пояснительный характер, покорность авторитету в случаях, доступных прямому наблюдению, и довольство раз установленным — все эти свойства средневековой арабской науки явились следствием указанных обстоятельств. Арабы с суеверным уважением относились к Аристотелю. Они стали хорошими математиками, удачно дополнили геометрические методы введением алгебры. В астрономии они ушли дальше древних по точности измерений и отчасти превзошли своих учителей в медицине и грамматике.

Физикой арабы занялись позже всего, проявив здесь в отношении и метода, и материала сильную зависимость от своих предшественников. Оптика, которую наряду со статикой греки разработали лучше других учений, тоже обратила на себя внимание арабов, и здесь они достигли наибольших успехов. К механике они обратились позже, чем к оптике, и проявили здесь меньше самостоятельности. Иногда, по примеру Гумбольдта, арабов считают родоначальниками опытного исследования, хотя большинство историков науки не разделяют этого мнения [66].

Предшественники Аббасидов Омейяды создали прецедент культивирования религиозных наук, языкознания и литературных штудий. Астрономия была необходима для исполнения исламских ритуалов: определения времени молитв, направления на Мекку, начала Рамадана (месяца поста). Медицина имела практическое значение: уроки давались врачами-неисторианами, служившими при дворе Аббасидов. Одним из первых поручений аль-Махди, второго аббасидского халифа, и его сына аль-Мансура стал перевод аристотелевского трактата об искусстве аргументации в помощь проведению диспутов с неверными для их обращения в ислам [207].

Метафизическая доктрина ислама включила в себя научные знания поздней Античности и раннего Средневековья. Была построена иерархическая система форм знаний, посвященных окружающему миру — от его низших материальных предметов до высших иррациональных субстанций. Движимый желанием походить на Аллаха, который согласно Корану «всеобъемлющ в своей мудрости», мыслитель этого периода представлял собой гуманиста, стремящегося к знанию во всех областях.

Все учение ислама пронизано сравнениями знания со светом: мусульманская теория познания основана на метафизике света. Так, мусульманский теолог и философ аль-Газали, автор более полусотни философских работ, представил высшие достижения исламской метафизики света в книге «Ниша света». В ней структура мироздания описывается в виде световой иерархии, основанием которой служат низшие из сотворенных субстанций, погруженные во тьму материи, а вершиной — Аллах как чистый свет.

По всей территории халифата возникали научные центры. В 761 г. вокруг города Тахарта на перекрестке сахарских караванных путей в Западном Алжире образовался эмират Рустамидов. Тахарт стал экономическим и культурным центром Северной Африки. Сюда стекались жители африканских провинций, среди которых особую роль играло христианское население

Магриба. Здесь процветали науки и побывали многие ученые и теологи из испанской Андалусии. С 800 по 909 г. в Ифрикии (современный Тунис) правила просвещенная династия Аглабидов. К 875 г. они захватили Мальту, а в 878 г. завоевали Сицилию, которая оставалась под властью мусульман до нормандского вторжения в XI в. Аглабиды распространили свое влияние на Центральное Средиземноморье. Столичный Кайруан вырос в большой город, центр культурной жизни Северной Африки. Аглабиды поддерживали интеллектуальную жизнь столицы: здесь процветали исламская теология, юриспруденция, естественные науки и поэзия. К концу IX в. мусульманская школа в Кайруане могла соперничать с любым учебным заведением Востока.

Стоит отметить, что средневековая исламская наука знала и периоды регрессивного развития. В 851 г. халиф аль-Мутаваккиль, обратившись к консервативной версии ислама, начал открыто преследовать сторонников других учений, в первую очередь несториан, изгнав их из диванов. Диалог между исламом и христианством на время сменился противостоянием.

6.2. НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ МУСУЛЬМАН В IX–XI вв.

Без четырех вещей не может обойтись человек
даже из знати — нельзя не вставать перед своим отцом,
нельзя не услужить гостю, нельзя не заботиться о своем коне
и не почитать ученого.

Аль-Джахиз

Если при возникновении ислама религия считалась единственной формой знания, то в IX в., помимо традиционных исламских наук, признавалось наличие наук интеллектуальных, естественных для человеческого разума [279]. Возникновение арабо-мусульманской философии и развитие на ее основе естественных и точных наук связано с усвоением греческого наследия. Александрийская школа, один из главных очагов греческой философской мысли и научных знаний, с начала VIII в. продолжала свою деятельность в Антиохии, где в IX в. получили образование многие арабские ученые, в том числе «второй учитель» после Аристотеля — философ аль-Фараби.

Научные достижения мусульман IX–XI вв. связывают с деятельностью целой плеяды великих мыслителей восточных областей халифата: узбеков аль-Хорезми и аль-Фаргани, арабов из Басры аль-Кинди и Альхазена, тюрка из Балха Абу Машара, иранца, уроженца Рея ар-Рази, выходцев из Харрана аль-Баттани и ан-Наиризи, багдадцев Абу-ль-Вафы и Абу Саада ибн Зала, египтянина Ибн Юнуса, иранца из Афшана Авиценны, тюрка из Хорезма Бируни и др. Этот период считается временем рождения арабской оптики.

Распад Багдадского халифата Аббасидов привел к возникновению в Египте и Северной Африке Фатимидского халифата, восточные провинции оказались под властью иранской династии Бувайхидов. Представитель последней — Адуд ад-Даула — расширил и украсил столицу Шираз, построил дворец с библиотекой, где хранились рукописи по всем отраслям знаний. Он упорядочил службу связи, открыл медицинские школы и госпитали, провел

каналы и создал искусственные водоемы. Адуд ад-Даула, осведомленный в достижениях иранской и арабской науки, с уважением относился к ученым, назначив щедрое содержание богословам, юристам, филологам, врачам и математикам.

С 969 г. в Египте укрепились исамаилитская династия Фатимидов. Тогда же в окрестностях Фустата была основана новая столица Аль-Кахира, будущий Каир. В 971 г. близ халифского дворца заложили кафедральную мечеть Аль-Азхар, ставшую центром шиитов, где ученые и наставники разрабатывали исамаилитскую доктрину и готовили миссионеров для провинций халифата. Фатимидский двор был организован иерархически, со сложной системой департаментов. Придворные и чиновники делились на две категории: «люди-мечи» и «люди-перья». При первых Фатимидах иноверцы привлекались к социальной, экономической и культурной жизни государства, но с 1003 г., при халифе аль-Хакиме, начались погромы синагог, церквей и монастырей. В середине века тюркские наемники, хозяйничавшие в Каире, разграбили замечательную столичную библиотеку. Вдобавок ко всему в Египте четырежды на протяжении XI в. случался голод, унесший десятки тысяч человек [130].

При тюркских султанах Алп-Арслане и его сыне Малик-шахе государство сельджуков достигло высшей политической мощи на огромной территории от Аму-Дарьи и границ Индии на востоке до Северной Сирии на западе (рис. 6.5). Самой яркой фигурой среди знати был визирь Низам аль-Мульк (ум. 1092 г.). Он стремился к созданию сильного суннитского государства с мощным войском и образованным духовенством. Ему принадлежит идея соз-



Рис. 6.5
Учебные заведения на территории халифата

дания в 1065–1067 гг. медресе, получившего по имени своего основателя наименование Низамия, где готовили теологов для развития суннитской доктрины.

По типу Низамии в других частях халифата создавались учебные заведения, фактически ставшие университетами арабского мира.

Укрепление позиций Аббасидов в Багдаде после 1092 г. благотворно повлияло на развитие арабской культуры в столице и городах Ирака. В конце XI — начале XII в., в канун монгольского нашествия, Багдад славился школами и библиотеками.

Мусульмане видели два пути получения знаний: передача от поколения к поколению и добывание с помощью Аллаха данного интеллекта. Вместе они составляют *постигаемые науки*, к которым добавляется низшее *эмпирическое знание*, являющееся результатом чувственного опыта (зрения, осязания и т. п.).

Во времена расцвета арабской культуры люди науки пользовались в обществе большим уважением. Ученый был окружен почетом, даже если происходил из беднейших слоев общества, и считался образцом для мусульман. В своем благочестии и рвении к постижению науки он забывал обо всем мирском и очищал мысли от дурных помыслов. Историк Мискавайх по этому поводу писал: «Наука открывает свое лицо тому, кто проводит ночи в неустанных научных занятиях. Нужно оставить все дурные привычки, не давать воли своим мирским страстям, покинуть общество друзей, уклониться от праздных разговоров и устремлять свой взор в глубины истины» [180].

Учителя считали, что наиболее ценное качество в ученике — хорошая память, поэтому вершиной устремлений мусульманских ученых было выучить наизусть Коран и повествования о деяниях и высказываниях Пророка (хадисы). Обучение было бесплатным. Учащиеся обеспечивались питанием, жильем и медицинским обслуживанием.

Госпитали и обсерватории. В начале IX в. на собранные пожертвования создаются госпитали, а с XI в. — астрономические обсерватории. К сожалению, содержание и объем медицинских руководств для госпиталей неизвестны, а многие обсерватории (Марага и Самарканд — счастливые исключения) исчезали со смертью своих патронов после нескольких десятилетий существования.

Создание медицинских центров было важным достижением ислама. Госпитали как учреждения для лечения заболеваний были созданы в Византии, но модель медицины как общественного института, открытого для всех социальных классов, была изобретена и стала массовой только в исламе. Религиозные предписания требовали бескорыстной помощи ближнему как обязательного для мусульманина элемента поведения. Ранние записи о госпитале относятся к Багдаду (ок. 800 г.). В течение следующего столетия в Багдаде основываются еще пять госпиталей. Они возникают по всей империи. Один из них, основанный в 982 г., насчитывал 25 докторов, включая окулистов, хирургов и костоправов. К этому периоду относится деятельность величайшего ученого-энциклопедиста Абу-ар-Райхана Мухаммеда ибн Ахмада ал-Бируни (973–1048 гг.), прославившегося как астроном, математик, физик, географ, историк, лингвист, этнолог, философ и поэт [119].



Бируни родился в предместье Кята, древней столицы Хорезма. Его первым наставником был грек, пробудивший у юноши интерес к естествознанию. Известный математик и астроном Ибн Ирак познакомил его с геометрией Евклида и астрономией Птолемея. Бируни изучал звезды и минералы, постигал тайны неба и земли, знакомился с трудами ученых. Он построил первый в Средней Азии глобус и обратился к изучению истории. В 27 лет он написал «Хронологию, или Памятники минувших поколений», где собрал календарные системы арабов, греков, персов и других народов, а также сведения об их культуре, обычаях и нравах. До нас дошла переписка Бируни и Авиценны, в которой обсуждались трактаты Аристотеля о строении Вселенной, свободное падение тел, атомы, природа распространения тепла и света. В 1010 г. Бируни вошел в хорезмийскую Академию аль-Мамуна, объединившую известных ученых и философов.

Когда полчища Махмуда Газневи напали на Хорезм и захватили тысячи пленников, среди них оказался и Бируни. Судьба забросила его в Газни, где он, занимая должность придворного астронома, изучал небесные светила, собирал материалы для трактата по математике, пытался объяснить влияние Луны на приливы и отливы. Здесь он завершил свои трактаты «Вразумление начаткам науки о звездах», «Тени» и задумал работу об Индии, которой отдал 12 лет жизни. Бируни начал изучать санскрит, несколько раз побывал в Индии, и написанная работа стала вершиной его научного мышления. В ней освещены кастовая система, философия, точные науки, религия, суеверия, законы, обычаи, предания, системы мер и весов, письменность и география.

Новый правитель Масуд, сын Махмуда Газневи, заботился о развитии науки и государстве. Бируни посвятил ему трактат по астрономии, который современники сравнивали с трудами Птолемея. В нем описано измерение в 1018 г. радиуса земной окружности по углу понижения горизонта при наблюдении с горы. Результат Бируни — 6338,8 км — близок к современным вычислениям (6370,98 км). Благодарный султан послал ученому слоновый вьюк чистого серебра, на что Бируни ответил: «Этот груз удержит меня от науки, мудрые же люди знают, что серебро быстро уходит, а наука остается. Я же никогда не предаю вечное непреходящее научное знание за мишурный кратковременный блеск» [177].

Научные интересы Бируни охватывали вопросы математики, астрономии (см. цв. вкл., ил. 9), географии, физики, геодезии, фармакологии. Он занимался популяризацией научных знаний, написав трактаты «Ключ к астрономии» (не сохранился) и «Введение в элементы астрологии». Придерживаясь геоцентрической теории, он допускал возможность вращения Земли вокруг Солнца. Бируни дал классификацию видов растений, животных, минералов и перечень лекарственных растений. Современники говорили о нем: «Его рука не расставалась с пером, глаза — с наблюдением, ум — с размышлением, кроме двух праздничных дней в году». Из-под пера ученого вышло более 70 сочинений по астрономии, 20 — по математике, 18 — по литературе. «Произведения его многочисленны, совершенны и предельно надежны. Не было ни среди его коллег в его время, ни после него, вплоть до сего рубежа, ученого, более искусственного в астрономии и более сведущего как в ее главных положениях, так и в тонкостях», — писал о Бируни его ученик, сирийский историк и врач Абу-ль-Фарадж.

Наследие Бируни — исторический памятник научной мысли не только Арабского Востока, но и всей мировой культуры. Из трудов Бируни и других исламских астрономов следует, что идея о наблюдательной эквивалентности геоцентрической и гелиоцентрической систем подспудно жила на Востоке. Бируни писал: «Вращение Земли ни в коей мере не уменьшает значение астрономии, поскольку все явления астрономического характера так же хорошо можно объяснить этой теорией, как и другой».

Образование и переводы. В IX–XI вв. в халифате существенно расширилось преподавание светских и религиозных наук. Первоначально преподавание богословия и мусульманского права происходило в стенах мечетей, позднее — в медресе. Оно состояло в том, что ученый-богослов диктовал написанную им книгу. Светские науки изучались и в мечетях, но чаще учителя работали с учениками дома. В отличие от европейской университетской системы с иерархией в корпорации ученых, преподаватели мусульманских медресе (рис. 6.6) не знали корпоративной ответственности. Прослушав курс у учителя, арабский студент получал от него *иджазу* (квалификационное свидетельство). Чем известнее был учитель, удостоверявший квалификацию, тем больше у студента было шансов войти в научную элиту, стать факихом, кади или преподавателем в религиозной школе, а если речь шла о светских науках — придворным врачом, астрологом или домашним учителем. Поэтому, желая заслужить репутацию образованного человека, студент переходил от учителя к учителю и накапливал *иджазы*.



Рис. 6.6
Маджнун и Лейла в медресе.
Иллюстрация из турецкого
манускрипта XVI в.
Национальная библиотека Франции,
Париж



Рис. 6.7
Ученый в библиотеке.
Манускрипт Макамат, 1237 г.
Национальная библиотека Франции,
Париж

Арабы по достоинству оценили достижения античных философов и охотились за греческими книгами.

На рисунке 6.7 изображен ученый, читающий лекцию в библиотеке. Переводческий центр аль-Мауна с библиотекой и обсерваторией, собравший крупнейших ученых арабского мира, возглавлял известный математик аль-Хорезми. Под его руководством были переведены труды Птолемея, Аристотеля и их последователей, «выполненные с замечательной эрудицией и искусно с филологической точки зрения» [17]. В конце VIII — начале IX в. на арабский язык был переведен «Альмагест» Птолемея и его трактат «Оптика», который лишь в XII в. был переведен с арабского на латынь. До нас дошла только латинская версия, греческий оригинал и его арабский перевод утрачены.

С развитием городов возрастала потребность мусульманской интеллигенции в знакомстве с культурой соседних народов. Большую часть образованных горожан составляли новообращенные в ислам, которым эта культура не была чуждой. Плодотворно повлияли на развитие арабской научной и философской мысли переводы античных, иранских и индийских текстов. Это была одна из самых продуктивных в истории попыток усвоения чужого научно-философского наследия.

Стремясь сделать свою столицу центром могущественного государства и средоточием культурной жизни, Харун ар-Рашид поощрял деятельность переводчиков, знакомивших арабское общество с сочинениями индийских, иранских и греческих авторов. Образованные сирийцы, греки и персы познакомили арабов с трудами Архимеда, Птолемея, Гиппократа, Галена, Платона и Аристотеля по математике, астрономии, медицине и философии, с индийскими медицинскими трактатами и персидскими историческими и дидактическими сочинениями. В первую очередь переводились греческие и индийские сочинения, содержавшие практические знания. В трудах по астрологии, астрономии, алхимии и медицине заказчиков прельщала возможность узнать будущее, обрести власть над природой и людьми, сохранить здоровье и продлить жизнь. Труды по астрономии использовались в мореплавании [94].

Халиф аль-Мамун заключил договор с византийским императором Михаилом III о комплектовании багдадской библиотеки копиями имевшихся в империи научных сочинений. В переводе античных трудов большую роль сыграли сирийские ученые. Хунайн ибн Исхак перевел сочинения Платона, Порфирия, греческих комментаторов Аристотеля и произведения Галена. Сам он был известным врачом и автором трактатов по медицине. Его дело продолжил сын Исхак ибн Хунайн, знаменитый переводчик с греческого. Харранец Сабит ибн Курра тоже много переводил и написал работы по математике, основываясь на трудах Евклида и Архимеда. Славилась переводы выходца из Баальбека Кусты ибн Луки. С персидского переводили аль-Хасан ибн Зал (ум. 850 г.) и Абдаллах ибн аль-Мукаффа. Большую известность благодаря переводческой деятельности получили члены семейства аль-Муннаджим.

Около 1150 г. в Западной Европе стали известны научные и философские труды выдающегося мыслителя Востока — Ибн Сины.



Рис. 6.8

Воображаемый портрет Авиценны — выдающегося мыслителя средневекового Востока.

Из иллюстраций к книге Андре Теве «Достоверные портреты и жизнеописания выдающихся людей греческого, латинского и языческого мира».

Париж, 1581 г.

«Аш-Шейх ур-Раис» («глава ученых») — так величали Абу Али Хусейна ибн Абдуллаха ибн аль-Хасана ибн Али ибн Сину (980–1037), которого мир знает под именем Авиценна (рис. 6.8). Он оставил после себя более 450 работ, сыгравших значительную роль в развитии теории познания. Его труды по медицине были до XVIII в. основными учебниками

в университетах Европы. Трактаты Авиценны по математике, физике, химии, астрономии, ботанике, об управлении армией, о налоговом обложении, о любви, переписка с современниками, работы по философии, праву, лингвистике, его поэтическое творчество, даже комментарии к сочинениям по магии — все это говорит о нем как об одном из удивительнейших ученых в истории мировой цивилизации.



Авиценна родился близ Бухары и уже в детские годы отличался редкой для своих лет эрудицией. Одаренный ребенок, он сначала изучил Коран и религиозную литературу под руководством двух учителей, завершив образование к десяти годам. Затем под началом наставника Авиценна стал читать комментарии Порфирия к работам Аристотеля по логике. Наставник был поражен способностями ученика: какие бы проблемы ни рассматривались, они разрешались им лучше, чем учителем. Продолжением была не только логика, но и «Элементы» Евклида и «Альмагест» Птолемея — трактаты такой сложности, что мальчик вынужден был сам объяснять их учителю. Далее он продвигался вперед самостоятельно с помощью аристотелевской «Метафизики», а также «логики, естественных и математических наук» и сложных медицинских работ [195].

Авиценна открыл школу, где под его руководством работали многие врачи.

Свои работы Авиценна писал на арабском языке.

В 18 лет, пользуясь широкой известностью энциклопедиста, эрудита и блестящего медика, Авиценна исцелил тяжелобольного правителя Бухары. В благодарность за это ему было разрешено работать в обширной библиотеке — Хранилище мудрости. Правитель прислушивался к советам Авиценны не только по государственным, но и по многим другим вопросам, не отвлекая его от научных занятий. «К 18–19 годам, — рассказывал впоследствии Авиценна своему ученику, — я освоил философскую науку — логику, физику, математику, геометрию, арифметику, астрономию, музыку, медицину и многие другие сложные науки, так что не встречал себе подобных». Его память, широта и глубина знаний поражали людей. Когда бухарская библиотека погибла от пожара, люди говорили: «Хранилище мудрости не погибло, оно переместилось в голову аш-Шейх ур-Раиса». В 21 год Авиценна написал философский трактат «Собрание».

Вовлеченный в политическую жизнь, он — в связи со сменой власти — покинул Бухару и искал пристанища при дворе правителей в Прикаспии и Северо-Восточном Иране. В Горганах, на севере Ирана, меценат Абу Мухаммед аш-Ширази щедро одарил его и заказал несколько работ. Некоторое время Авиценна жил в Рее, близ Тегерана, где исцелил принца Мадж ад-Дауля. Затем он отправился в Хамадан. Правитель Хамадана, вылеченный Авиценной, назначил его визирем. Днем Авиценна занимался делами, а ночи посвящал науке. В это время им были написаны «Книга исцеления» и «Канон врачебной науки» (ок. 1020 г.). «Канон» в латинском переводе Герарда Кремонского (XII в.) в течение нескольких столетий служил настольной книгой для медиков Европы и по числу изданий соперничал с Библией. В этом трактате Авиценна, в частности, впервые верно описал анатомию мышищ человеческого глаза и дал новое толкование механизма зрения.

Жизнь Авиценны можно охарактеризовать как титанический творческий труд. Он творил в любое время суток и в любой обстановке: писал и диктовал свои труды днем и ночью, в заточении и в пути, не покидая седла. На рисунке 6.9 из арабской рукописи XII в. представлен воображаемый диспут Бируни и Авиценны. В дополнение к своим удивительным дарованиям и живому уму, Авиценна, по-видимому, был наделен приятной внешностью. Сохранилось описание его пребывания при дворе в Исфахане в последние годы жизни. В длинных одеяниях и чалме из грубой ткани «он сидел возле эмира, лицо которого светлело, когда он восхищался его благородной внешностью и мудростью. И когда Авиценна говорил, все присутствующие внимательно его слушали, храня глубокое молчание».

Однажды турецкий правитель Гияс ад-Дин заинтересовался, почему звезды не видны днем. Обратившись к своим мудрецам, он не получил объяснений. Тогда он обратился к Авиценне (рис. 6.10), который дал грамотное оптическое объяснение, основанное на явлении рассеяния света. В дневное время солнце освещает инородные включения в воздухе — пыль и водяные пары. Они обретают яркость, а звезды становятся невидимыми.



Рис. 6.9
Воображаемый диспут
аль-Бируни и Авиценны.
Из арабской рукописи XII в.
Библиотека Топкапи, Стамбул



Рис. 6.10
Турецкий правитель Гияс ад-Дин,
Авиценна и мудрецы



После смерти правителя Хамадана враги заключили Авиценну в крепость Фардаджан, где он дописал разделы по логике, математике, физике и метафизике для «Книги исцеления». Вскоре ученый был освобожден и перебрался в Исфахан, где составил «Книгу спасения», явившуюся кратким изложением «Книги исцеления». Умер Авиценна в возрасте 57 лет, освободив своих рабов и раздав имущество беднякам. Согласно легенде, в свой последний час он решил победить смерть и навсегда остаться в живых. Он приготовил 40 разных лекарств, которые в определенном порядке должен был применить его ученик. Ученик точно исполнил все наставления — и его изумление росло по мере того, как безжизненное тело учителя превращалось в гибкий юношеский стан. Порозовели щеки, появилось дыхание — оставалось поскорее дать последнее лекарство, оно должно было укрепить ту жизнь, которую вдохнули в учителя все предыдущие. Пораженный тем, что Авиценна действительно оживает, ученик на радостях уронил флакон, лекарство пролилось на землю и ушло в ее глубину. Чуда возрождения не произошло, но в благодарной памяти человечества Авиценна навсегда остался бессмертным.

6.3. КОРДОВСКИЙ ХАЛИФАТ. XII–XIII вв.: ВЗЛЕТ И ПАДЕНИЕ

Все, достигшее своего предела, начинает убывать.

Арабская пословица

С 756 г. до начала XI в. исламская Испания (Аль-Андалус) управлялась династией Омейядов. Они построили прекрасную столицу на юге Андалусии — Кордову, покровительствовали образованию, копированию и переводам книг, основали в Кордове университет и библиотеку, содержащую, по некоторым сведениям, 400 тысяч томов. Возможно, это гипербола, но книг в ней было больше, чем в любой библиотеке христианской Европы. Были созданы библиотеки и в других городах. Омейяды поощряли освоение классического наследия. Это время стало для Андалусии золотым веком. Знаменательно сотрудничество аборигенов из иудейских и христианских общин за одним учебным столом и даже в одном правительстве. Андалусия стала мультиэтническим, мультирелигиозным и мультилингвистическим государством [219].

Образовавшийся в начале VIII в. Кордовский эмират с X в. существовал как самостоятельный халифат. Арабы и мавры овладели почти всей Испанией, захватили земли вестготской и испано-римской знати, церкви и королевского фиска. Мусульманское владычество на Иберийском полуострове сопровождалось подъемом городов и культурной революцией в духовной жизни, развитии гуманитарных и точных наук. Через Кордовский халифат в европейские страны проникли в переводах труды арабских ученых по математике, астрономии, географии, физике, алхимии, медицине, анатомии. Высшие школы в арабской Испании были одними из первых в Европе. Значительный подъем переживали медицина, математика, география. Многие европейцы приезжали учиться в университеты Кордовы, Севильи, Малаги, Гранады. В X в. европейские ученые стали изучать арабские науки. Так, Герберт Орильякский, впоследствии папа Сильвестр II, занимался в Каталонии математикой и астрономией.

В Иберии после восьми веков присутствия арабов и возвращения христианства до сих пор ощущается влияние мусульманской культуры. Интеллектуальное влияние на Испанию благодаря единству мусульманского мира оказали Средняя Азия, Персия и Северная Африка. В Андалусии в XIV в. были написаны алгебраические трактаты с операциями извлечения корня, нахождения неизвестного, возведения в квадрат. Алгебраический формализм проник в Европу благодаря испанским переводам с арабского языка и был освоен европейской математикой.

В результате взаимообогащения культур XII–XIII вв. стали временем интеллектуального взлета кордовского государства. Здесь появилась когорта великих философов и выдающихся ученых, мусульманских проповедников и преподавателей естественных наук. Средневековая мусульманская Испания времен Кордовского халифата осталась в истории науки как родина выдающиеся философов аль-Газали и Ибн Рушда (Аверроэса) из Кордовы, Ибн Баджи и Ибн Туфейля из Гранады, Ибн Араби и Ибн Халдуна. В Средние века большой известностью пользовался арабо-еврейский философ Моше бен Маймон (Маймонид) — теолог, врач и комментатор Аристотеля. Потомки установили ему как главе философской школы памятник на одной из площадей Кордовы (рис. 6.11). Особый интерес представляет личность известного окулиста из Кордовы аль-Гафеки (рис. 6.12). Его авторитет в области глазных болезней был так велик, что, когда в Испании появились очки, они в его честь были названы *gafas*.



Рис. 6.11
Памятник философу и врачу
Маймониду
в Кордове
(фото авторов)



Рис. 6.12
Современная скульптура
средневекового окулиста
из Кордовы аль-Гафеки
(фото авторов)

Интерес к науке и образованию не угас и в других частях мусульманского мира. При Тимуридах в 1232 г. халиф аль-Мустансир основал в Багдаде медресе Мустансирия, подобное Низамии. Была сооружена Мечеть халифов, ставшая одним из центров исламской философской мысли. При династии Айюбидов (1169–1252) культурный подъем переживал Египет. Под покровительством эмиров этой династии Египет и Сирия стали центрами арабской учености и литературы. Победа египетского правителя Саладина над армиями крестоносцев в битве при Хиттине (1187) укрепила его авторитет в мусульманском мире. Египет оказался открыт для социальных изменений и развития, став одним из культурных центров на Ближнем Востоке. Ликвидировав огромную исмаилитскую библиотеку Фатимидов, Саладин учредил множество медресе — центров возрождавшегося суннизма, а основанная исмаилитами мечеть Аль-Азхар стала цитаделью суннитской ортодоксии.

Многие историки придерживаются мнения, что исламская наука достигла вершины между XII и XIV вв. и начала склоняться к закату, когда оживилась европейская наука. Этому периоду посвящен ряд публикаций [205], [321], [361].

Такая точка зрения привлекательна: в начале IX в. империя Аббасидов вышла на сцену подобно восходу Солнца и затем разделилась на мелкие фрагменты, воюющие между собой. На западе возникшая в 1065 г. в Испании Реконкиста через 200 лет закончилась полным христианским контролем над полуостровом. Толедо был взят в 1085 г., Кордова — в 1236 г., Севилья — в 1248 г. С востока исламская империя была атакована монголами и тюрками. В 1258 г. монголы разрушили и разграбили Багдад, покончив с империей Аббасидов. Политический беспорядок должен был подорвать научный прогресс. В связи с ростом религиозной оппозиции аристотелевской натурфилософии и метафизике был потерян патронаж властителей, и научная активность упала. Но неожиданная историческая правда состоит в том, что многие покорители стали поддерживать науку [248]. Например, Хулагу-хан, разрушивший Багдад, вместе с братом Мангу покровительствовал обсерватории в Мараге. Улугбек, внук Тамерлана, великого монгольского покорителя Центральной Азии, создал в Самарканде медресе и обсерваторию и лично управлял ими [326].

В Испании христиане, мусульмане и иудеи долго жили бок о бок и гармонично трудились вплоть до 1492 г., когда евреев изгнали с Пиренейского полуострова. Наконец, религиозная оппозиция была ограничена областью теологического импорта и имела небольшой или нулевой эффект по отношению к естественным наукам. Вопрос, какая из религиозных культур — ислам или христианство — достигла больших результатов в естественных науках, не так прост [348].

Интереснее получить ответ на другой вопрос: как произошло, что интеллектуальная деятельность, начавшаяся в неблагоприятных условиях, развилась в ошеломляющую научную традицию, которая продолжалась столь долго? Короткий ответ заключается в редкостном сочетании обстоятельств, в исламских владениях и их образованных подданных, которые впитали классическую научную традицию, включающую в себя все ресурсы, достигнутые наукой, особенно математикой и медициной. Имелась элита образованных,

теологически толерантных, владеющих разными языками людей, которая сохранила оазисы научных традиций, иноземных и по рождению, и по содержанию [255]. Не надо упускать из виду и утилитарные мотивы: логика для права; математика для торговли; государственные записи для хранения, обслуживания и инженерии; астрология для составления и интерпретации гороскопов; астрономия для составления календаря и определения направления на Мекку и времени молить; медицина для лечения широкого спектра недугов. К счастью, в XII–XIII вв. многие из текстов, содержащих эти научные достижения (исламские и греческие), стали доступными и употребительными в латинской Европе, где они жадно изучались. Тем самым процесс передачи культурного наследия начался снова.

6.4. АРАБСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУК. КОНКРЕТНОЕ ЗНАНИЕ

В исламских науках не было отдельной дисциплины, соответствующей физике в ее современном смысле. Была натуральная философия, включавшая в себя, помимо физики, науки о земле и жизни вообще. Были конкретные дисциплины, такие как оптика, сегодня входящие в разделы физики, которые мусульманские ученые считали математическими науками. Принципы исламской натурфилософии, следуя Авиценне, формулировались в части, называемой «слухами» по поводу натуральной философии. Традиционная доктрина предусматривала применение физических принципов там, где метафизика не находила решений. Тем не менее ученые, теологи и гностики интересовались такими вопросами, как природа времени, пространства, материи и движения.

Наиболее распространенными среди мусульманских мыслителей были перипатетические принципы натурфилософии, обсуждаемые в русле работ Аристотеля и трактовок его александрийских комментаторов. Обсуждались учение о форме и материи как основных принципах бытия, определение пространства как внутренней поверхности тела, являющейся тангенциальной к внешней поверхности. Рассматривалось время как мера движения (по Аристотелю, Авиценне и ат-Туси). Анализировалось не только движение вообще, но даже реактивное движение, при этом мусульманские перипатетики критиковали Аристотеля и развивали идеи, которые получили развитие в последующей истории физики. Другой группой мыслителей были антиперипатетики (ар-Рази, Бируни и аль-Багдади), оказавшие влияние на будущие представления. Каждый придерживался своей линии, но вместе они критиковали превалировавшую трактовку перипатетической натурфилософии. Ар-Рази обосновал независимую космологию на пяти *вечных сущностях*, среди которых были время и пространство. Он основывался на манихейских работах и «Тимее» Платона. Его форма атомизма брала начало в индийских трактатах.

Бируни подверг физику Аристотеля резкой критике, он давал ответы на натурфилософские проблемы, поставленные Авиценной: отвергал наличие *естественных мест* для предметов подлунного мира, невозможность вакуума [5].

Науки в исламе рассматривались иерархически, объединенные в единую пирамиду от знания о Всевышнем до земных материй. Стремление уподобиться всеведущей и всемогущей субстанции поощрялось. Поэтому в мусульманском мире не было острой конфронтации между верой и наукой. В Коране говорится об облагораживающем влиянии знания и рекомендуется стремиться к науке, «даже если бы на ее поиски пришлось отправиться в дальние края». В эпоху раннего ислама под наукой понимались грамотность, знание Корана и богословия. Начиная с VIII в. понятие науки расширилось и стало охватывать математику, астрономию и другие отрасли знаний.

Исламские ученые стремились включить свои достижения в общую схему знаний. Разработанные аль-Жинди, аль-Фараби, Авиценной, аль-Газали, ат-Туси и другими мыслителями классификации наук оказались сходными. Наиболее известной тогда была классификация, предложенная Аристотелем. Философию он разделил на теоретическую (логика, физика, математика, метафизика), практическую (этика, экономика, политика) и творческую (поэтика, риторика и искусство). В этой схеме нашлось место и таким близким к *техне* наукам, как оптика и гармония. Менее известна классификация мыслителей средневекового Востока, в которой знания также разделялись на теоретические и практические. Под первыми подразумевалось чистое познание мира, умозрительное представление о его строении. Под вторыми — знание о человеческой деятельности, обществе и семье. Различались мусульманские науки, к которым наряду с изучением Корана, хадисов, мусульманского права относили и филологию, и иноземные науки, воспринятые в результате контактов с другими народами.

Ислам занимала проблема гармонии религии и науки. Аль-Жинди первым обозначил ее в трактате «Типология наук». Но гораздо большее влияние на дальнейшее развитие образования оказал труд «Слово о классификации наук» его последователя, перипатетика аль-Фараби (870–950). Он отражал классификацию Аристотеля, переданную мусульманам через «Введение» Порфирия. Аль-Фараби объединил рассуждения Аристотеля с учением Корана и законами шариата. Этот труд был известен в Западной Европе по переводам Доминика Гундиссалина и комментариям Петра Албанского [260].



Абу Наср Мухаммед ибн Тархан аль-Фараби родился в Средней Азии. Многие годы провел в Багдаде. Его наставниками были Юхана ибн Хайлан и переводчик античных текстов Абу Бишр Матта. Первый из них «был приобщен к живой традиции передачи наследия Аристотеля от учителя к ученику через ряд поколений», второй преподавал логику. Ученик вскоре превзошел своих учителей. Аль-Фараби переехал в Харран, где жили ученые-несториане, вытесненные из Александрии. Последние годы он провел в Дамаске, окруженный почетом и уважением. Умер в возрасте 80 лет.

В классификации аль-Фараби (рис. 6.13) оптическая наука выделена в самостоятельный раздел наравне с геометрией и астрономией. Опираясь на Птолемея, аль-Фараби добавил девятую, беззвездную сферу, которую поместил выше сферы неподвижных звезд. О каждом небесном теле аль-Фараби говорит: «Оно имеет лучшее очертание — сферическое. Оно обладает лучшими видимыми качествами, а это — свет: потому что некоторые из его частей

Науки о языке (грамматика, техника перевода и т.п.)	
Науки об обществе (юриспруденция, мусульманская теология и т.п.)	
Науки логические (наука о категориях, аналитика, софистика, риторика, поэтика)	
Науки метафизические (наука о бытии, дискуссии о нематериальных телах, общие принципы наук)	
Науки натуральные ("физика")	Науки пропедевтические ("математика")
Натурфилософия	Арифметика
Наука о минералах	Астрономия
Изучение простых тел	Геометрия
Элементы составных тел	Механика
Наука о растениях и животных	Музыка
	Оптика

Рис. 6.13
Классификация наук по аль-Фараби

производят свет, как, например, звезды. Другие прозрачны, освещаемые сами собой и светом, заимствованным у звезд. Наконец, оно имеет самое лучшее движение — круговое» [91].

В чем, по аль-Фараби, заключается особенность философских знаний? «Человек осознает существующие предметы, запечатленные в его душе в том виде, в каком они существуют в действительности; он воображает их, если в душе запечатлеваются их образы и подобия». Ученый приводит сравнение разных степеней видения: «1. Видение предмета, каков он в действительности. 2. Видение его отражения (в воде, в зеркале). 3. Видение отражения не самого предмета, а его изображения (например, отражение в зеркале портрета человека)».

Аль-Фараби был не только теоретиком астрономии, но и превосходным наблюдателем. Используя визирные инструменты, он измерениями подтверждает открытие об изменении солнечных апогеев, сделанное его предшественниками из обсерватории аль-Мамуна.

Философский трактат аль-Фараби «Слово о классификации наук» можно считать краткой энциклопедией Средневековья, посвященной разным областям знаний. Этот труд лег в основу работ Авиценны и Роджера Бэкона. Бэкон восхищался классификацией аль-Фараби, ставя его в один ряд с Евклидом и Птолемеем. Новые разделы наук были описаны в трактатах Авиценны, аль-Газали и Аверроэса.

В X в. произошла дифференциация наук. Авиценна, по античной традиции считая всю совокупность знаний философией, разделял науки логические, физические, математические, философские и словесные. Он выделял в теоретической философии прикладные отрасли, называемые ответвлениями, а в практической — теоретические отрасли. В некоторых ответвлениях философии, в частности в медицине, Авиценна выделял теоретические разделы. В теоретическую философию вошли физика, математика и метафизика, отличающиеся по отношению к материи. Физика — наука о чувственных телах; математика — о вещах без материи (фигуры, числа); метафизика — о вещах, которые не нуждаются в материи и движении или вообще не связаны с ними.

Классификация наук была завершена в трактате «Введение» историка и социолога Ибн Халдуна (1332–1406). В состав арабских наук Ибн Халдун (рис. 6.14) включил, кроме изучения Корана, хадисов и мусульманского права, теологию, мусульманский мистицизм и толкование снов, а также филологию: изучение арабского языка и поэзии. К иноземным областям знаний,



Рис. 6.14

Скульптура средневекового историка и социолога Ибн Халдуна (фото авторов)

объединенных в *философию*, помимо логики («Органон» Аристотеля), физики (медицина, наука о сельском хозяйстве, магия и алхимия) и метафизики, Ибн Халдун относил математику, астрономию, музыку и оптику [93]. Позднее дискуссии о классификации наук велись на страницах энциклопедий на арабском, персидском и турецком языках. В период расцвета мусульманской культуры оптика признается самостоятельной наукой и выводится из раздела математики. Ибн Халдун, в отличие от аль-Фараби, придал оптической науке статус одной из важных дисциплин, что было предопределено работами великого оптика Альхазена.

Отметим различия в средневековой и современной трактовке термина *физика*: сегодня оптика — раздел физики, в Античности и Средние века были другие представления. Физика, как она понимается сейчас, имеет исторически малый возраст. Ньютон считал себя не физиком, а натурфилософом. Такое понимание характерно и для науки исламского мира. С одной стороны, в ней не было многих дисциплин, относя-

щихся к физике в современном понимании, а с другой — многие разделы физики входили в натурфилософию или математику. Натурфилософия включала в себя науки о жизни и о Земле, которые назывались физикой или физиологией. В определенном смысле в Античности и Средневековье оба этих названия были почти синонимами. Оптика, сегодня являющаяся разделом физики, относилась мусульманскими учеными к математическим наукам. К ним же относили науку о гравитации и механических устройствах.

Арабская математика. Мусульманские математики унаследовали традиции греческих и индийских ученых. В IX в. в Багдаде автор трудов по алгебре и арифметике Мухаммед ибн Муса аль-Хорезми (ок. 783 — ок. 850 гг.) познакомил арабов и европейцев с индийским обозначением чисел, нулем и математической географией. От индусов арабы заимствовали цифры и десятичную систему счисления, которые потом распространились по всему миру. Работы аль-Хорезми считались в Европе основополагающими до XVI в., а его латинизированное имя Алгорисмус сохранилось в термине *алгоритм*. Термин *алгебра* (аль-джабр) обязан происхождением работе аль-Хорезми «Краткий трактат по расчету восстановления и противоположения».

Создание теории тригонометрических функций связывают с именем математика и астронома аль-Баттани.

Привилегированное положение математики среди наук исламского мира было обусловлено несколькими причинами. Известна роль орнаментов и узоров в мусульманском искусстве, в частности в архитектуре (см. цв. вкл., ил. 10, 11). Запреты и ограничения на изобразительный ряд, накладываемые Кораном и шариатом, привели к расцвету орнаменталистики, основанной на

геометрических построениях. Она способствовала развитию учения о правильных многоугольниках на плоскости и объемных многогранниках. Арабские геометрические инструменты — линейки, циркули, угольники, транспортиры — стали образцами для европейских геометров. На базе простых геометрических приспособлений исламские ученые создавали первые астрономические инструменты и приборы.

Второй ветвью развития мусульманской математики было учение о числах, ставшее основой арифметики. Нумерология пронизала философские воззрения, поэзию, музыку и пластические искусства. Арабский алфавит выстроен в соответствии с сакральными числовыми последовательностями. По математическим принципам создавались музыкальные и поэтические произведения, рождавшиеся под сенью Корана. Искусство, от узорного ковроткачества до орнаментального украшения мечетей, тоже имеет отношение к алгебраическим и геометрическим учениям, к миру чисел и фигур [107].

Математические идеи заимствовались арабами из Месопотамии, Египта, Греции, а также из Персии и Индии, заложив основу высокой математической культуры. Греческие источники донесли вавилонскую математическую традицию, например деление круга на 360° с элементами шестидесятиричной системы счисления. Из индийских источников известны были труды Брахмагупты и Ариабхаты. Переводились и комментировались «Элементы» и «Данные» Евклида (рис. 6.15), «Конические сечения» Аполлония Пергского, «Сферики» Менелая и Феодосия, наконец, «Введение в арифметику» Никомаха. Арабы знали работы Герона, Теона и других математиков александрийской школы. Интерес к Архимеду был вызван содержанием его трактатов «Сфера и цилиндр», «Измерение круга», «Равновесие планет», «Плавание тел».

Большое значение имели арабские цифры, достигшие Запада в X в. (рис. 6.16). Новые методы вычислений, основанные на арабской нотации, оказались проще, эффективнее и стимулировали развитие точных наук. Учение о числах достигло расцвета в работах Бируни и персидского математика

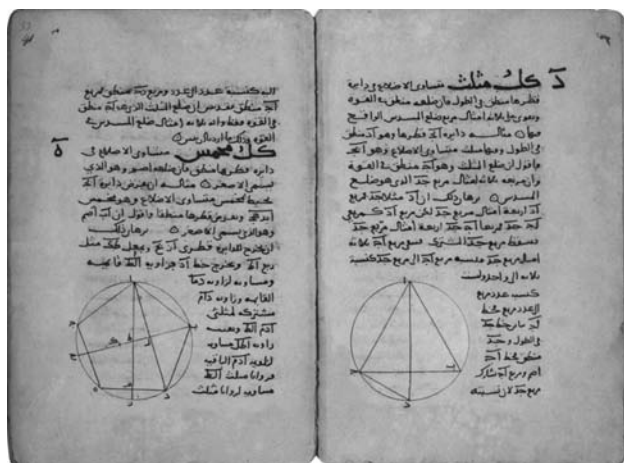


Рис. 6.15
Арабский трактат по геометрии Исаака ибн Ханаяна.
Марокко, 1284–1285 гг.

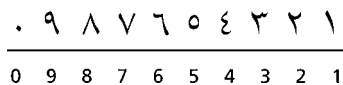


Рис. 6.16
Арабские цифры

аль-Кашани. К этому времени были открыты и исследованы десятичные дроби, итерационные вычисления, получено значение числа π , заложены основы шестидесятиричной математики. Считается, что аль-Кашани изобрел первую вычислительную машину и решил биномиальное уравнение, спустя семь веков названное ньютонским.

Важными для развития оптики были работы математиков круга ат-Туси (Марага, Персия, XIII в.), посвященные тригонометрическим функциям. Они составили таблицы тангенсов с точностью вычислений в одну десятимиллионную! Опираясь на «Конические сечения» Аполлония, Сабит ибн Курра провел анализ зажигательных параболических зеркал, развитый Альхазеном и Бируни. Связи арабской геометрии, тригонометрии и астрономии с развитием оптики рассмотрены в работе Верне [364].

В X в. Абу Аббас ан-Наиризи написал комментарии к Евклиду, включающие достижения Герона, Симплиция и александрийских ученых. Другой работой по геометрии стал труд Абу-ль-Вафы аль-Бузджани «Что художник должен знать о геометрических операциях». Абу Саад ибн Зал решил задачу о пропорциональных сечениях шара, поставленную Архимедом и Аполлонием Пергским и основанную на решении уравнений выше второй степени. Альхазен исследовал фигуры равных периметров. В XI в. арабы решили задачу о делении круга на девять равных частей, классифицировали конические сечения и создали методику трисекции угла на основе пересечений окружности и гиперболы.

Омар Хайям и ат-Туси рассмотрели трудные места из Евклида (см. цв. вкл., ил. 12). Они проанализировали его пятый постулат о непересекающихся параллельных, заложив представления о зрительной перспективе: анализ точек схода параллельных прямых создал предпосылки для неевклидовой геометрии.

Внимание к символическим аспектам геометрии и их роли в искусстве и архитектуре сохранялось в исламском мире на протяжении столетий, в том числе в гармонической *качественной геометрии*, отражающей мудрость Главного архитектора Вселенной.

Греческие математики, например Гиппарх, пользовались таблицами хорд — табулированными значениями хордовых длин для центральных углов единичной окружности. Отсутствие тригонометрического аппарата в свое время не дало возможности Птолемею открыть закон преломления света, хотя экспериментальные данные это позволяли [76]. Тригонометрия как учение о соотношениях между углами и сторонами прямоугольного треугольника стала открытием мусульманских ученых. Они определили тригонометрические функции, а термин *синус* есть не что иное, как латинизированный перевод арабского обозначения *джайб*.



Линия синуса у индийских математиков первоначально называлась «арха-джива» («полутетива», т. е. половина хорды), затем ее стали называть просто «джива».

Арабы не перевели слово «джива» словом «ватар», обозначающим тетиву и хорду, а транскрибировали арабскими буквами и стали произносить название линии синуса «джайб» — буквально «впадина, пазуха». Европейские переводчики перевели слово «джайб» латинским словом «sinus», имеющим то же значение.

В IX в. плоская тригонометрия была использована аль-Баттани в астрономических трудах: он разработал приемы сферической тригонометрии. Другой астроном, Хабаш аль-Хасиб, ввел понятие *тангенса*, дополнив тригонометрические функции синуса, *косинуса* и *котангенса*. Наибольшее развитие этот раздел получил в трудах Абу-ль-Вафы. Он записал теорему синусов для сферического треугольника, вывел формулы приведения и добавил тригонометрическую функцию *секанса*, хотя последнее нововведение ошибочно приписывают Копернику.

Следующий этап развития тригонометрии был связан с именем Бируни: трактат «Ключ к астрономии» стал первым учебником по сферической тригонометрии. Бируни, вычисляя длины меридианных и широтных градусов земной сферы, исследовал пределы применимости плоской и сферической геометрии. Он сравнивал выражения для отношений сторон и углов произвольных треугольников, фактически формулируя условия для параксиальной оптики — приосевой области лучей и углов, где возможна замена синусов самими углами в радианной мере [257].

В XII в. тригонометрия была окончательно оформлена ат-Туси, чей фундаментальный труд «Книга секторных фигур» сыграл решающую роль в ее распространении в Западной Европе. Он обобщил работы предшественников — Абу-ль-Вафы и Бируни — и составил таблицы для шести тригонометрических функций.

В IX в. от общего древа арабской математики отделилась ветвь алгебры, близкая к метафизическим принципам исламской доктрины. Первой книги — «Книги рассуждений о вычислениях неравенств и уравнений» аль-Хорезми в переводе на латынь Роберта Честера — оказалось достаточно для распространения алгебры в европейских университетах.

В X в. последователи аль-Хорезми разработали алгебраические приемы решения античных задач, таких как деление сферы на части в заданной пропорции. Эта и другие проблемы конических сечений и зеркальных отражений от криволинейных поверхностей решались с помощью уравнений третьего порядка. Разрабатывались геометрические приемы решения алгебраических уравнений. Одно из решений, принадлежащее Омару Хайяму, относится к катоптрике. Хайям выполнял построения для нахождения точки, делящей квадрант в заданной пропорции полухорды и радиуса. Эта задача являлась элементом нахождения точек отражения и локализации изображения в сферическом выпуклом зеркале — так называемая *задача Альхазена*.

Арабская астрономия. Наблюдательная астрономия в исламской науке охватывала изучение движения планет и расположения неподвижных звезд, траекторий движения Солнца и Луны, чередования лунных фаз и затмений (см. цв. вкл., ил. 13). В связи с особенностями мусульманского календаря и летосчисления изучение Луны вообще носило тотальный характер. Вслед за Аристотелем арабы не включали в этот круг кометы и падающие звезды, приписываемые к подлунному миру. В задачи астрономии входило учение о счислении времени и нахождение направления на Мекку [15].

Для греков понятия астрономии и астрологии были практически синонимами. У арабов и персов также не было четкого разграничения между ними, хотя некоторые ученые относили астрономию к области математики, а астро-

логию — к натурфилософии или оккультным наукам. В арабских текстах неясно, когда речь идет об астрономах, а когда об астрологах.

Хотя исходными источниками мусульманской астрономии были греческие, индийские и персидские тексты, в ней прослеживается влияние арабских учений доисламского периода. Бедуины много веков вели наблюдения за звездами и небесами, о созвездиях сельский житель Аравии знал не меньше современного образованного горожанина. И дело тут не только в аспектах жизни в пустыне, но и в поиске общей гармонии мира [40].

Древние арабы разделили траекторию движения Луны на 28 станций. Эта система была приспособлена для мусульманской астрономии и астрологии при изучении фаз Луны и расчете появления света в лунной фазе каждый месяц. Полученные данные использовались при создании лунного календаря, его соотношений с христианским и в метеорологических предсказаниях. Уточнением солнечного календаря занимались до эпохи сельджуков (Омар Хайям), но для средневековых земледельцев-христиан более подошел кордовский календарь, распространившийся по всей Европе из Испании. Арабы первыми начали издавать астрономические и метеорологические альманахи.

Само слово *аль-мунах* (климат) стало названием изданий, посвященных небесным и погодным наблюдениям [67].

Основой для развития астрономии в странах ислама стали индийские источники «Хандахадьяка» Брахмагупты и «Ариабхатья» Ариабхаты. Появление в IX в. переводов работ Птолемея изменило представления астрономов. Трактат Птолемея «Альмагест» перевели на арабский язык Хунайн ибн Исхак и Сабит ибн Курра. Появились переводы и других трудов великого грека: «Географии», «Планисферы», «Тетрабиблоса» и «Оптики». Были известны работы Гиппарха, Аристарха, Геминия и Теона [211].

Астрономия арабов включала описание структуры космоса, определение законов движения небесных светил и их положения на небесной сфере и установление цикличности астрономических явлений, прежде всего затмений.

Арабы считали Землю центром мироздания, вокруг которого вращаются восемь небесных сфер, несущих Солнце, Луну, пять планет и неподвижные звезды. Теоретические проблемы астрономии интересовали их меньше, нежели составление астрономических таблиц, имевших практическое значение. Основными источниками по астрономии Востока были *зиджи* — собрания тригонометрических и астрономических таблиц и правил решения задач практической астрономии с введением, содержащим описание картины мира, и сведениями из математики и сферической астрономии. Слово «зидж» персидского происхождения. В средневековом Иране до арабского завоевания астрономические сочинения назывались «зик». Содержанием зиджей были также календарные и географические таблицы и таблицы движения Солнца, Луны и планет. Зависимости синуса и котангенса были табулированы, в них прослеживалась связь с гномоникой. Почти все зиджи содержали таблицы широт и долгот Луны и пяти планет, таблицы параллакса Луны по долготе и широте, а для солнечных и лунных затмений — таблицы скоростей Солнца и Луны в сизигиях. Иногда табулировались величины затемненной части диска светила и время его погружения в темноту [15]. Такие

таблицы составлял, используя индийские и иранские данные, аль-Хорезми. Особой точностью отличались таблицы аль-Баттани с разделами по географии, превосходившие по достоверности и широте охвата материала сочинения греческих и латинских авторов. Ученые, жившие при дворе аль-Мамуна, составляли карты халифата и производили в связи с этим астрономические вычисления.

По представлениям мусульманских ученых и философов все сущее в материальном мире состоит из четырех элементов: воды, воздуха, огня и земли. Земля находится в центре Вселенной. Она окружена воздушной сферой, которая помещается внутри огненной сферы. Все это составляет *нижний мир*, который находится внутри нескольких сфер, носящих название *небеса*. Непосредственно земная сфера окружена первой, лунной, сферой, затем идут сферы планет и звезд. Последней, девятой, сферой кончается Вселенная. Небесные сферы именуются *верхним миром*.

С астрономией связаны основные достижения арабской науки. Все девять небес исламской космологии (рис. 6.17) изучались арабами с использованием различных визирных инструментов, в первую очередь астрлябии (рис. 6.18). На рисунке 6.19 представлена миниатюра художника аль-Васити из собрания новелл аль-Харири «Макамы» (1237) со сценой измерения астрлябией высоты небесных тел.



Рис. 6.17
Арабские небесные сферы рая

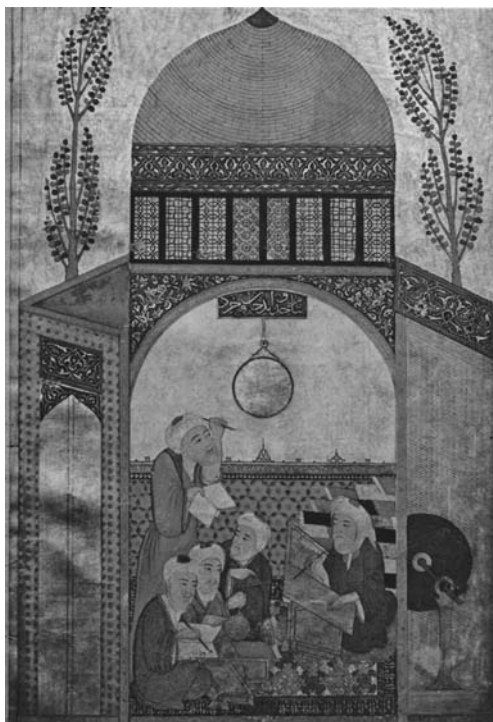


Рис. 6.18
Средневековая миниатюра с изображением учеников, изучающих астрономию с учителем



Рис. 6.19
Измерение высоты небесных тел с помощью астролябии. Миниатюра художника ал-Васити из собрания новелл ал-Харири Макамы, 1237 г.



Рис. 6.20
Изображение созвездия в виде фигуры человека. Из книги ас-Суфи [279]

Живший в X в. астроном ас-Суфи в «Книге неподвижных звезд» придерживался древней традиции изображать созвездия в виде фигур людей или животных (рис. 6.20). Ас-Суфи взял за основу каталог Птолемея, но исправил расхождения в положении отдельных звезд. Он вычислил, используя новое значение постоянной прецессии, координаты для 964 г. и привел точные характеристики блеска звезд. В свое издание он включил доисламские названия звезд и созвездий. Каталог ас-Суфи был научным и практическим руководством, использовавшимся в навигации. В нем приводились координаты каждой звезды и два изображения каждого созвездия: одно в том виде, в каком оно видно на небе, другое — зеркальное, как оно выглядит на медном глобусе небесной сферы. С помощью каталога и глобуса можно было найти на небе созвездие и по нему определить местонахождение судна [268].

До X в. мусульмане следовали индийским и персидским планетарным моделям.

Позже благодаря работам аль-Баттани теория Птолемея стала общепризнанной в исламской астрономии. Последующие два столетия наблюдений и точных вычислений принесли арабам разочарование в геоцентрической системе. К XII–XIII вв. в исламском мире сформировались две тенденции в критике эллинистической планетарной теории. На востоке, где сохранялись традиции чистого аристотелизма, перипатетическое учение об идеальных сферах пропагандировалось Авиценной. В трактате «Сфера» он привел аргументы против усложнения этой схемы Птолемеем. С другой стороны, в мусульманской Испании развивались астрономически обоснованные модели, опиравшиеся на гомоцентрические сферы Евдокса — Аристотеля и отличные от эпициклически дифференциальной системы Аполлония — Птолемея. Некоторые из них предполагали размещение Земли не в центре Вселенной. Исследования Бируни символизировали пик этого критицизма, хотя ученый уделял больше внимания философским, нежели астрономическим доказательствам. Практического вывода из работ в области планетарной теории не

последовало, но критика модели Птолемея сыграла свою роль в атаках на геоцентризм в эпоху Ренессанса.

В Персии среди зороастрийцев и мусульман возражения против птолемеевской картины мира имели убедительную аргументацию. Насир ад-Дин ат-Туси (1201–1274) в работе «Астрономический мемориал» указывал на несоответствия между прямыми следствиями эпициклической модели геоцентрической системы и наблюдаемыми движениями планет. Для системы Земля — Луна ат-Туси предложил аналогичную коперниковской схему, сводящуюся к равномерному циркулярному движению. Эта модель, названная *парой Туси*, базировалась на вращении одного вектора вокруг конца другого [231]. Суть парного движения по ат-Туси заключалась в том, что «если один круг катится по внутренней поверхности второго, и второй имеет радиус вдвое больший первого, то любая периферийная точка малого круга движется по окружности этого удвоенного радиуса» (рис. 6.21). Арабские ученые создали механический аналог такого планетарного движения и применили его к моделированию Вселенной. Ат-Туси и его последователь аш-Ширази распространили идею парных круговых движений на систему Земля — Луна и применили ее к паре Солнце — Меркурий. Если расположить такую пару на конце вектора воображаемого птолемеевского экванта, то последний будет периодически расширяться и сужаться таким образом, что полностью заменит эпициклическое вращение вокруг Земли. Крайняя точка *пары Туси* станет играть роль эпициклического центра и сделает ненужной громоздкую систему птолемеевских дифферентов. Таким образом, в Средние века арабские астрономы подошли к критике общепринятой модели Вселенной, подготовив переход к новым взглядам Коперника и Галилея [253].

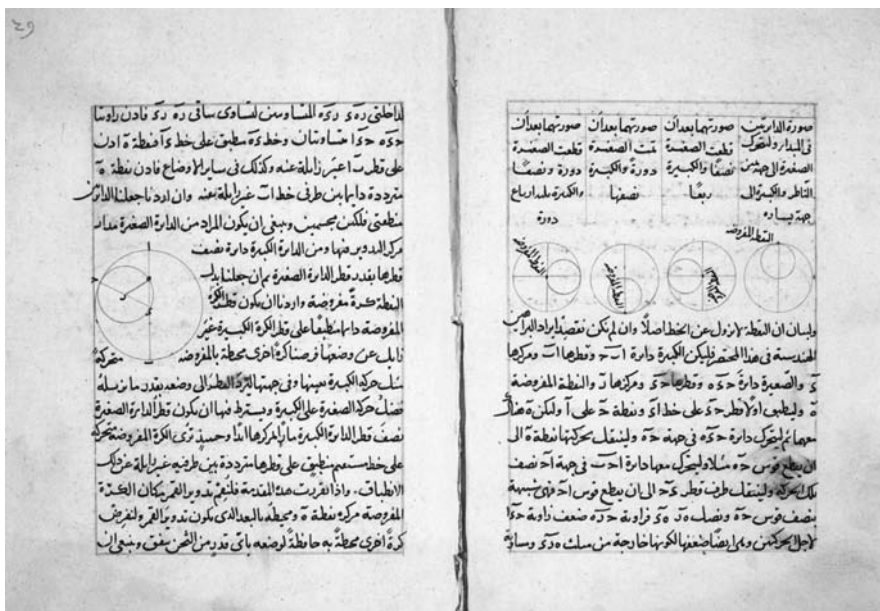


Рис. 6.21
Фрагмент трактата ат-Туси

Астрономические инструменты. На ранних стадиях ислама распространенным был *индийский круг*, деливший окружность на четыре квадранта по 90° . Начало его использования относится к древним цивилизациям и основано на круговом расположении угловых меток для солнечного гномона. По методу обратного визирования тень гномона позволяла следить за временем суток и определять широту места и наклон солнечной эклиптики. Древние обсерватории, построенные по этому принципу, могли использоваться для ночного определения звездных координат прямым визированием небесных светил.

Арабские астрономы, изучая высоту склонения Полярной звезды, поставили задачу измерения размеров Земли. В 827 г. Халиб ибн Абдулмалик и Али ибн Иса с помощниками пришли на пустынную равнину Синдjar в Северной Месопотамии. Они измерили высоту Полярной звезды и, разделившись на две группы, разошлись на север и на юг. Каждая партия измеряла пройденный путь шестами. Северная партия остановилась тогда, когда Полярная звезда оказалась на 1° выше, чем вначале, южная — когда она оказалась на столько же ниже. Таким образом, каждая партия отошла от начальной точки вдоль меридиана на 1° широты и измерила длину соответствующей этому расстоянию дуги. Астрономы вновь сошлись, чтобы сравнить результаты, которые почти совпали. Длина одного градуса оказалась равной 56 арабским милям. К сожалению, неизвестно, чему равнялась арабская миля. В одной рукописи сказано, что она равна 4000 локтей, локоть — ширине восьми кулаков, кулак — ширине четырех пальцев, палец — толщине шести ячменных зерен, а ячменное зерно — толщине шести волос с ослиной морды. Современные ученые установили, что толщина ослиного волоса равна 0,4 мм. Если ослы со времен древних вычислений не стали более или менее грубошерстными, то по данным арабов длина земной окружности составила 41 779 км, что является точным результатом [205].

Точные методы визирования требовались и для определения времени молитв по лунному календарю, направления на Мекку, начала Рамадана. Наиболее сложной была задача нахождения в любое время года для любых географических координат направления на Мекку. Она решалась геометрами и астрономами на протяжении веков: целая наука была развита для нахождения священного направления, называемого *кыбла*. По сути, сферическая тригонометрия совершенствовалась арабскими математиками для решения именно этой задачи. Бируни и Альхазен составили методики определения направления на Мекку, используя геометрические построения, тригонометрические функции и технику визирования с учетом особенностей небесных сферических координат.

На рисунке 6.22 показан восходящий к персидской традиции приближенный метод определения кыблы Сардара Кабули для мест с широтой и долготой, отличающихся от координат Мекки менее чем на $10\text{--}15^\circ$.

Другая особенность состоит в учете распорядка религиозной жизни, привязанной не к солнечному, а к лунному календарю, хотя некоторые формы солнечного календаря использовались для сельскохозяйственных нужд и в административных регламентациях. Коран запрещал любые вставки в лунный год из солнечного, считая субъективные корректировки данной свыше

реальности проявлением неверия. Изучение лунных фаз, исследование закономерностей их смены и особенностей пересечений солнечной и лунной траекторий — все это составляло предмет заботы мусульманских астрономов. На иллюстрации 14 (см. цв. вкл.) показана схема Бируни, поясняющая явление солнечного затмения. Утренние и вечерние молитвы должны происходить при солнечных восходах и заходах, а праздники — по суткам, отсчитываемым в соответствии с лунными фазами. Поэтому первые научные тексты на арабском языке посвящены астрономии и астрологии.

Систематическая программа астрономических наблюдений требовала оборудованных наблюдательных пунктов, фиксированных мест и необходимых инструментов. Арабы стали первыми, кто начал создавать обсерватории — здания, оснащенные астролябиями, квадрантами, солнечными часами, возможно, армиллярными сферами и безлинзовыми зрительными трубами (рис. 6.23). Здесь же располагались библиотеки и трудились профессиональные астрономы. Такие обсерватории для коллективной работы, наблюдений, исследований и обучения были великим достижением ислама [53]. Вначале обсерватории были небольшими, возглавляемыми одним астрономом, но с XIII в. превратились в научные институты, как, например, обсерватория ат-Туси в Мараге (рис. 6.24). Первая запись астрономических наблюдений на арабском, датируемая 800 г., была сделана в обсерватории персидского Гун-

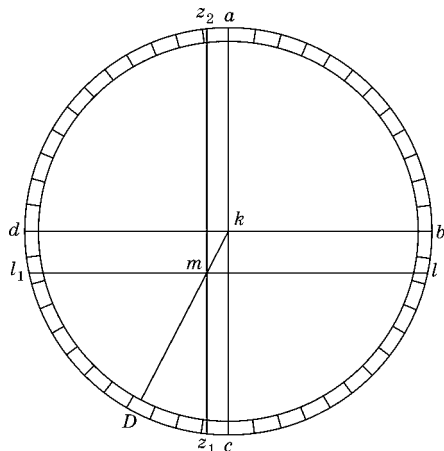


Рис. 6.22
Определение кыблы —
направления на Мекку



Рис. 6.23
Оборудование
средневековой мусульманской
обсерватории [279]

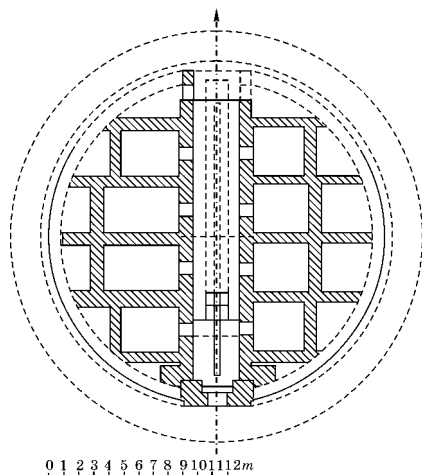


Рис. 6.24
Горизонтальное сечение обсерватории
ат-Туси в Марагаше (ныне — Тебриз).
По раскопкам
азербайджанского университета

дишапура и относилась к движению Солнца по эклиптике. Но понадобилось несколько столетий, чтобы обсерватории стали настоящими центрами получения и распространения научных знаний. Арабские астрономы раннего периода работали у себя дома или проводили измерения с верхних площадок минаретов. Так, башня Хиральда в Севилье, бывшая минаретом, на протяжении мусульманского владычества в Испании использовалась для астрономических наблюдений (рис. 6.25).

Иногда обсерватории обустраивались персонально для того или иного ученого. На холме Мукаттам близ Каира была выстроена обсерватория для известного египетского астронома и личного астролога халифа Ибн Юнуса. После ее строительства в 1259 г. в истории обсерваторий наступила новая эра. Ат-Туси, превратив каирскую обсерваторию в научный институт, где совместно трудилась целая группа астрономов, разработал теорию парного движения системы Земля — Луна.



Рис. 6.25
Башня Хиральда в Севилье, 1060 г. Бывший минарет мечети, где был один из главных мусульманских университетов Андалусии (фото авторов)

The Cosmos and Its Mathematical Study

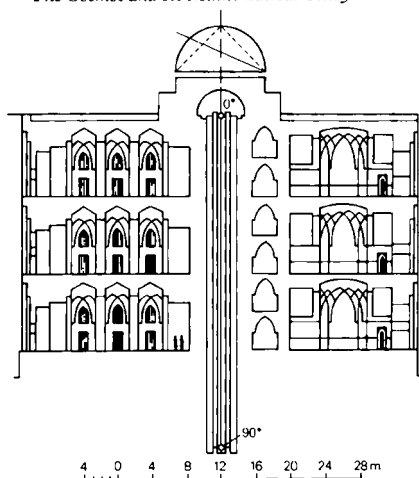


Рис. 6.26
Реконструкция средневековой самаркандской обсерватории



Рис. 6.27
Обсерватория Улугбека в Самарканде. Современный вид (фото Н. Гавриловой)

Считается, что первым в истории научно-исследовательским центром в современном понимании стала обсерватория в Мараге. По ее типу, но с бóльшим размахом был создан астрономический комплекс Улугбека в Самарканде (рис. 6.26, 6.27). Его конструкция и инструменты доказывают эту преемственность. На дверях медресе Улугбека в Бухаре сохранилась надпись: «Стремление к знанию — обязанность каждого мусульманина и мусульманки».

В конце периода расцвета мусульманской науки во всех крупных исламских городах были обсерватории. Они, в свою очередь, оказали влияние на сооружение обсерваторий в Индии. Примерами служат обсерватории Самрат Янтра в Джайпуре (рис. 6.28), в Варанаси (рис. 6.29) и Дели (рис. 6.30).



Рис. 6.28
Обсерватория в Джайпуре (фото авторов)



Рис. 6.29
Обсерватория в Варанаси (фото авторов)



Рис. 6.30
Обсерватория в Дели (фото авторов)

Арабские сооружения легли в основу первых европейских обсерваторий, например, построенных Тихо Браге и Кеплером. Анализ устройства европейских обсерваторий XVI–XVII вв. и их астрономических инструментов показывает, что они были созданы по типу мусульманских. Создание обсерваторий и совершенствование визирных инструментов оказало влияние на становление арабской оптики.



Рис. 6.31
Офтальмолог Абу Бакр ар-Рази

Арабская медицина: начала офтальмологии. Замечательных успехов достигла арабская средневековая медицина, в которую существенный вклад внесли сирийско-христианская семья Бохтишо (IX в.), ар-Рази (рис. 6.31) и Авиценна. В сирийской школе Гундишапура медицина изучалась в основном по Гиппократу и Галену; около 800 г. врач Джабраил из семьи Бохтишо, преподаватель гундишапурской школы, открыл в Багдаде первую больницу. Труд врача и философа Абу Бакра ар-Рази «Книга по медицине», как и другие его сочинения, содержал описание известных в то

время болезней, основанное на трудах греческих, сирийских, индийских ученых и личных наблюдениях. Большую популярность приобрел «Канон врачебной науки» Авиценны (см. цв. вкл., ил. 15), который на протяжении многих веков был одним из основных медицинских и фармакологических пособий в странах Востока и Европы [325].

Из медицинских отраслей знания особо востребованной в пустынных регионах халифата, Египте и Аравии, была офтальмология. У египтян, культивировавших технологии мумификации, накопился богатый опыт препарирования глазного яблока.

Внимание к глазным болезням было обосновано и с религиозной точки зрения («око Гора», «священный глаз Уаджет» и т. п.), и практическими причинами. Пыль и песок, переносимые ветрами сирокко из Ливийской и Аравийской пустынь, не оставляли без работы египетских окулистов.

В доисламский период александрийские врачи выделяли офтальмологическую тематику. Им не уступали медики Персии, Магриба и Испании, знакомые с работами арабских окулистов. Офтальмолог заметно выделялся мусульманским обществом из всех классов врачей. Арабы освоили все греческое знание в этой области. Уже в ранних работах Хунайна ибн Исхака были изложены основы исламской офтальмологии. Позднее к античному наследию были прибавлены опыт и знания мусульманских офтальмологов и окулистов, которые в период XI–XIII вв. уже превосходили своих христианских коллег.

Наиболее известными в исламском мире трудами по глазным болезням были трактат Али ибн Исы «Сокровище офтальмологии», который обобщил все достижения в этой области, и книга с символическим названием «Свет глаз» персидского окулиста Абу Мухаммеда аль-Джурджани. За свое

мастерство аль-Джурджани получил прозвище «Золотая рука», а его работы оставались врачебными руководствами на протяжении веков. От арабов они попали к латинянам. Трактат Али ибн Исы, в конце жизни принявшего христианство, был в XIII в. переведен на латинский язык под заголовком «Tractatus de oculus Jesu ben Hali».

Хунайн ибн Исхак, возможно, был первым ученым, написавшим систематизированное руководство по офтальмологии. В десяти трактатах, написанных в 840–860 гг. и законченных его учеником и племянником Хубайшем, Хунайн привел сведения по анатомии глаза и мозга, глазным нервам, а также по физиологии глаза, глазным болезням и их лечению. Его последователь ар-Рази впервые описал рефлексы зрачка. Успехи арабских ученых в офтальмологии достигли расцвета примерно в 1000 г., с появлением труда багдадского врача-окулиста Али ибн Исы. Его современник Амнат ибн Али аль-Маусили первым ввел методы отсасывающего удаления катаракты, изобретя полую иглу. Этот метод в 1846 г. возродил французский врач Бланше. Такие ученые, как Али ибн Иса, расширили унаследованные от греков знания своими теориями и исследованиями, указав, в частности, на взаимосвязь глазных нервов. Трактат Авиценны на эту тему содержит сведения об анатомии глаза, механизме зрения и советы по сохранению зрения. Многие технические термины попали в латинскую офтальмологию из арабского языка, что подтверждает влияние исламских источников. По арабским методам и сегодня выполняют простые глазные операции, например удаление катаракты [305].

Подводя итог достижениям арабской науки, отметим столкновение двух подходов — рационалистического, продолжавшего традиции греческой мысли, и традиционного, состоявшего в толковании священных текстов. Расцвет арабской учености был недолгим: от натурфилософских изысканий исламский мир быстро отвернулся. Со второй половины XV в. в мусульманском мире прекратилась заметная научная деятельность. Войны, политическая разобщенность и экономическое оскудение привели к упадку культуры и науки, а научные исследования переместились в Западную Европу. В области естественных дисциплин арабы сберегли достижения Античности и дополнили сумму человеческих знаний новыми и оригинальными сведениями.

Становление оптики как самостоятельной науки — достижение арабской научной революции IX–XI вв. Перевод «Сокровища оптики» Альхазена на латынь в конце XII — начале XIII в. оказал влияние на западную оптику [265]. Работы Евклида, Птолемея, Альхазена и аль-Кинди, переведенные в XII в., показали эффективность математического подхода. Это противостояло трудам Аристотеля, Авиценны и Аверроэса, утверждавших, что проблемы оптики относятся к физике и психологии, а не к математике. Благодаря арабам западные ученые обогатились новым знанием, содержащим противоборствующие идеи и тенденции.

ГОТИКА И УНИВЕРСИТЕТЫ, НАУКА И РЕЛИГИЯ

Чтобы познать истину,
надо выйти за ее пределы.

Арабская пословица

Контакты между мусульманским миром и латинской цивилизацией укреплялись на востоке (Палестина) и западе (Испания). С XII в. складывались дипломатические и торговые связи, накапливались географические знания. В XIII в. большой интерес в Европе вызвала книга венецианского путешественника Марко Поло «О разнообразии мира», в которой он описал увиденные страны и жизнь их народов. Эта книга послужила толчком к развитию картографии и в мусульманских странах (см. цв. вкл., ил. 16), и среди латинян [141].

Мир становился иным — как тот, который собирался под знаком креста, так и тот, что жил под знаком полумесяца. Налицо были изменения в социальной и личной психике, внутренние перемены, вызванные яркими внешними впечатлениями. Конец XII в. ознаменовался утратой христианами Иерусалима, но он оставил Европу в живом, полном надежд движении. «Внимательно присматривается к своему вчерашнему неприятелю христианский гость Сирии, как, впрочем, давно присматривался он к нему в Испании и Сицилии. Он начинает разбираться в том культурном наследстве великого античного Востока, хранителем и передатчиком которого стал сарацин» [24].

Ученые Средневековья, ознакомившись с достижениями античной науки напрямую и через арабские переводы, сами получили оригинальные результаты. Интеллектуальное развитие западного христианства способствовало появлению университетов, ставших хранилищами знаний, центрами просвещения и науки. Дж. Бернал назвал это время «объединенным арабо-романским усилием примирить религию и философию и завершить классическую картину мира». Нельзя не отметить замкнутость и излишнюю теоретизированность схоластической школьно-университетской системы, что приводило к противодействию университетской профессуры научным и техническим новациям. Примером может служить оптическое достижение Средневековья — очки. Очки для дальновзорких уже применялись, а в университетах все сыпались упреки в адрес людей, «по недомыслию пытающихся с помощью дьявольских ухищрений» исправить свое Богом данное естество.

Писания XII в. обращались к слову *mutatio* (перемена), которое отражало ожидание чудес, конца мира, пути за море, дороги в Сирию и Палестину. Масса крестоносцев в XI–XIII вв. неоднократно проделала этот путь с расту-

щим разочарованием в его религиозной цели, но с возрастающим интересом к неведомому миру.

Схоластика внесла в европейскую традицию понимание того, что знание есть освобождение. Она привила вкус к порядку, что нашло отражение в облике городов: мостилось все больше улиц, организовывалось избавление от отбросов, рождалась идея городской красоты. «Возникновение средневековой красоты, воплощенной в памятниках, было теоретически обосновано благодаря созданной в городах схоластики» [106].

В XII–XIII вв. наступает расцвет искусств, в частности архитектуры. Романское искусство намечало возврат к римской Античности, а возникающее готическое искусство было ответом на рост численности населения (требовались более просторные церкви) и отражало глубокие изменения во вкусах — стремление к вертикали, свету и цвету.

Готика повсеместно стремилась усилить впечатление прозрачности: каменное кружево аркбутанов, раздвоенные окна с фестонами-трилистниками, такие же отверстия табернаклей — каменных островерхих шатров над статуями; розы огромных круглых окон, составленные из мозаики цветных стекол. Историки искусства называют готический собор «зеркалом мира» в том значении, в каком это имя давалось распространенным в Средние века энциклопедиям, где в иерархической церковной схеме трактовалось «творение видимое и невидимое». Это — мир природы, истории (Ветхий и Новый Заветы и церковные события Европы) и живой для мысли Средневековья невидимый «мир ангелов и небесных сил». Вооруженный такой энциклопедией (зеркалом), руководитель постройки, ученый-богослов намечал расположение и темы скульптурного и живописного убора [24].

Высокие окна готических соборов свидетельствовали о стремлении к одухотворению посредством света. Начало архитектурным переменам было положено в XII в. настоятелем аббатства Сен-Дени Сугерием, перестроившим базилику согласно новым богословско-эстетическим принципам. В противоположность романским стеклам (белым или украшенным гризайлем) готические стекла расцветали яркими красками, изготовленными из растений. Развитие готической архитектуры повлекло за собой расцвет скульптуры, используемой главным образом для украшения соборов.

Европа цветного витража блистательно проявила себя в Шартрском соборе, знаменитом своими синими стеклами. Затем появились многочисленные подражания. В XIV–XV вв. возникла так называемая пламенеющая готика.

Готический стиль XIII в. сказочно обогатил Европу в области изображений. Витражи XIII в. — это не объемная картина действительности, но цветной ковер, мозаика из небольших ярко окрашенных кусочков стекла, с определенным тактом отделенных друг от друга темной рамкой свинца, предохраняющей цвета от взаимного приглушения. Лучи, свободно проходя через стеклянную среду, «зажигали» стекло и воздух храма «всей славой цветной радуги», заставляя его словно трепетать от отражений самоцветных камней. Готическое стекло — блестящая страница живописных достижений эпохи. Его доныне сохранили или умело реставрировали Реймс, Страсбург, Кёльн, Флоренция, Сиена, Вена, Прага и особенно маленькое чудо стеклянной мозаики — вся сотканная из света и красок парижская Сент-Шапель [24].

С точки зрения трансформаций визуальных восприятий европейцев важно отметить проникновение в их искусство рельефа. Техника плоскостных изображений начала уступать рельефным, возрождался вкус к телесности, вызванный практической нуждой реликвариев, сделанных в форме хранимых частей тела, куда заключались руки, головы, бюсты чтимых святых. Возникла смешанная техника низкого рельефа, превращающегося в высокий: головы выделялись живой моделировкой.

Именно в Средневековье возникла атмосфера свободной научной дискуссии. «Ученые позднего Средневековья положили начало той интеллектуальной традиции, без которой последующее развитие натурфилософии было бы немислимо» [253]. Начал формироваться дух критического анализа и методологического сомнения, которому столь обязаны наука и цивилизация Запада. Отличительные черты западной цивилизации — критическое исследование, доминирование разума, рациональный подход — начали проявляться именно в это время [11]. Повсеместно возросло число письменных документов, создавались и вводились в оборот хартии — единый порядок, юридические правила. Кроме клириков, их использовали нотариусы, возникли канцелярии. Организовывались места хранения документов — архивы, изготавливались своды хартий — капитулярии. Эпоха окружения письменных свидетельств сакральным ореолом сменилась временем их практического использования. Эти инструменты выводились из-под церковного влияния. Появился еще один институт развития, начавший складываться при Карле Великом и сформировавшийся в XII в., — университеты (рис. 7.1).

Наиболее образованные из преподавателей стремились научить студентов распознавать логические ошибки и делать безупречные умозаключения. Период XII–XIII вв. был эпохой господства схоластики, как было принято называть научную работу, которая велась в университетах Европы. Философская скрупулезность была вообще присуща университетам в эпоху их становления. Папы и другие священнослужители причисляли их к величайшим сокровищам христианской цивилизации. Папа Иннокентий IV называл университеты «реками учености, чьи воды удобряют почву единой Церкви», а папа Александр IV — «светильниками, сияющими в доме Господнем».



Рис. 7.1

Занятия теологией в университете Сорбонны, 1350 г.

С XII–XIII вв. в программу университетов входили диспуты, называвшиеся *quodlibetique* (от *quod libet* — то, что нравится), в ходе которых проявлялся интеллектуальный блеск преподавателя. Университетское преподавание было связано с публикациями, поэтому университеты играли важную роль в распространении книг. В сборниках помещались оригинальные тексты и комментарии преподавателей, предвещавшие появление схоластических сумм. Важным этапом этой эволюции явились сборники сентенций — обработок основных текстов для обучения дискуссии. Их разработчиком был архиепископ Парижа итальянец Петр Ломбардский, чья «Книга сентенций», составленная в 1155–1157 гг., служила основным учебником на факультете богословия университетов. Другим новшеством оказалась *глосса* — результат развития библейской экзегетики. В середине XIII в. была написана «Ординарная глосса» — новый университетский учебник по толкованию Библии [161].

Этот период — время преобразования христианской Европы, ее культуры и ментальности, формирования нового христианского гуманизма. В XII и XIII вв. наполнились новым смыслом два принципиальных понятия западноевропейской философии — Природа и Разум. Возникло разграничение между естественным и сверхъестественным, восприятие природы как отдельного физического и космологического мира. Важную роль в этом сыграли еврейские и арабские философские течения в их западном преломлении и пребывавшие в забвении древнегреческие труды Аристотеля с его *подлунным миром* [24].

7.1. РЕКОНКИСТА, ШАРТРСКАЯ ШКОЛА, КНИЖНАЯ КУЛЬТУРА

В конце XI в. христиане начали вытеснять исламских завоевателей из Испании, затем одержали над ними победу в Сицилии. На Пиренейском полуострове набирала силу Реконкиста. Ключевым событием стало взятие Толедо в 1085 г. — город преобразился, отныне в нем жили бок о бок христиане, мусульмане и иудеи; появились переводчики с греческого, древнееврейского и арабского. Толедо сделался одним из центров интеллектуального расцвета христианской Европы.

Испания имела преимущество в прямом контакте с арабской культурой, укрепляемое арабскими книгами и общинами христиан и иудеев. Во времена халифата им было позволено свободно практиковать свои религии под мусульманским управлением, теперь они становились посредниками между культурами.

Когда Реконкиста стала мощным потоком, центры арабской культуры и библиотеки попали в руки христиан. На протяжении XII и XIII вв. сокровища библиотеки Толедо находились под покровительством местных епископов. Католическим ученым достались в наследство научные и учебные центры. На Сицилии и в Южной Италии на смену нормандскому правлению пришли немецкие монархи, влияние этого региона в христианском мире возросло, а Палермо занял особое положение, объединяя несколько культур. Межэтнические и культурные контакты в Андалусии и Каталонии, на Сицилии и на Мальте, по всему побережью Средиземного моря становились постоянными

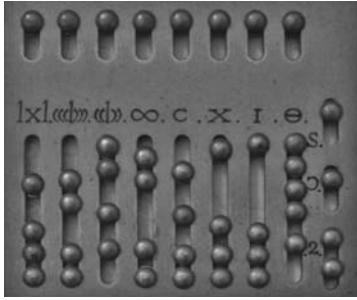


Рис. 7.2
Реконструкция
римского абака
(древней
счетной доски).
Музей Рима



и продуктивными. Массовое движение крестовосцев в Палестину сыграло интегрирующую роль, хотя некоторые историки ее не переоценивают, утверждая, что «единственная польза от Крестовых походов — это знакомство европейцев с абrikосом» [24].

В области счета была создана замечательная «Книга абака» (рис. 7.2), опубликованная в 1202 г. Леонардо Фибоначчи (1180–1240).

Фибоначчи родился в Пизе. Его отец был торговым консулом в городе Бужи в Северной Африке. Путешествуя по Египту, Сирии и Сицилии, Фибоначчи приобрел к мусульманской математике и первым ввел в употребление арабские цифры, ноль, позиционную форму записи чисел, действия над дробями, предложил пропорциональный ряд. Кроме «Книги абака» известен его труд «Практика геометрии».

Острота столкновения двух культур постепенно смягчалась. В западном обществе возрастал спрос на арабские географические карты, учебники алгебры и астрономии, глубже становилось понимание красоты арабского зодчества, очарования арабской сказки и смысла «арабского» Аристотеля. Об изменениях в строе общественной психики свидетельствовал расцвет диалектического метода, возвестивший о повороте в неподвижном мире школьной схоластики. Росло влияние запросов городской, глубоко мирской в своей основе, среды. Наряду с теологией расцветало изучение физики и математики, астрономии и картографии, мирской литературы и права, из городского общества вербовались врачи и юристы. Возникали городские дворцы, ратуши, магазины, больницы и воспитательные дома, медицинские учебники и энциклопедии [159].

Кафедральная школа в Шартре. Ее расцвет пришелся на XII в. и явился особой главой в интеллектуальной истории и науки Запада. В XI в. школа развивалась под руководством Фульберта, ученика Герберта Орильякского. Фульберт (рис. 7.3) был знаком с достижениями в логике, математике и астрономии, находился в курсе исследований, проводившихся в мусульманской Испании, был прекрасным врачом, являл собой пример ученого-католика.

На западном фасаде Шартрского собора каждому из семи свободных искусств соответствует отдельная скульптура, каждую дисциплину олицетворяет античный мыслитель: Аристотель, Боэций, Цицерон, Донат (возможно, Присциан), Евклид, Птолемей и Пифагор (рис. 7.4). Работы над фасадом велись в 1140-е гг. под наблюдением канцлера Тьери Шартрского. Он был глубоко предан свободным искусствам, при нем школа стала лучшим и наиболее престижным учебным заведением в Европе [11].

Дисциплины квадривиума побуждали учеников шартрской школы к созерцанию созданного Богом упорядоченного мироустройства и красоты Творения. Благодаря изучению тривиума они получали возможность убедить



Рис. 7.3
Памятник основателю
шартрской школы
епископу Фульберту,
Шартр (фото авторов)



Рис. 7.4
Деталь западного портала Шартрского собора
с аллегорическими образами наук
и наиболее почитаемыми мудрецами древности —
Евклидом, Аристотелем и Птолемеем
(фото авторов)

тельно и понятно выражать то, что открылось им в результате созерцания. Интеллектуалы шартрской школы с энтузиазмом предлагали объяснения, основанные на естественной причинности [255]. Аделард из Бата (ок. 1080 — 1160), обучавшийся в Шартре, писал: «Именно разум делает нас людьми... Я не умаляю Бога, ибо все, что есть, исходит от Него. Но сначала мы должны дойти до самых границ человеческого знания, и только если человеческого знания не хватит, следует обращаться за объяснением к Богу» [11].

С XII в. началось возрождение интеллектуальной жизни. «От тьмы невежества к свету науки не поднимешься, если не перечтешь с живейшей любовью труды древних», — писал Петр из Блуа. А вот как учил в Шартре мэтр Бернар Клервоский (рис. 7.5), по свидетельству его ученика Иоанна Солсберийского: «Чем больше ты знаком с науками и чем больше ими проникся, тем полнее поймешь правоту древних авторов и тем яснее станешь их преподавать. Из первоматерии истории, темы, сказания с помощью всех дисциплин и великого искусства синтеза и сочетания создали законченное произведение как прообраз всех искусств. Грамматика и Поэзия тесно сплетаются и покрывают все пространство изображаемого. На это поле Логика, дающая нам цвета демонстрации, приносит блеск золота разумных доказательств; Риторика силой убедительности и красноречия подобна сиянию серебра. Квадрига Математики движется по следам других искусств и оставляет бесконечное разнообразие цветов и оттенков. Изучив тайны природы, Физика вносит очарование своих нюансов» [42] (рис. 7.6). Однако использовать ученость должна была не для повторения древних,

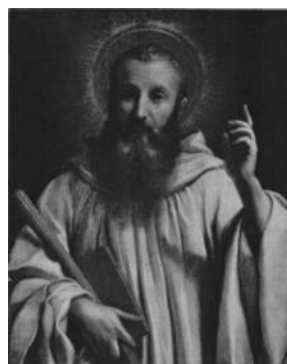


Рис. 7.5
Бернар Клервоский



Рис. 7.6

Аллегорическое изображение наук

В XIII в. окончательно сложился новый облик книги. Усовершенствовались пунктуация, в манускрипты ввели заголовки и рубрики, книги стали делить на главы, добавились алфавитные указатели. Еще одним новшеством стал отказ от чтения вслух, кроме как перед избранной аудиторией, в обиход вошло чтение про себя. В университетских книгах появились широкие поля для комментариев.

Распространение кодексов тормозилось двумя обстоятельствами. Первое — социальное: число грамотных ограничивалось образованными монахами, пользовавшимися единственными в то время библиотеками — монастырскими скрипториями. Второе — кодексы изготавливались из пергамента. Для одной книги требовалось много телячьей или ягнячьей кожи, поэтому книги были дорогими. Но с увеличением числа городских школ и университетов спрос на них возрастал [24].

Употребление книг расширялось за счет возникновения новых профессий, например юристов; грамотность распространялась среди дворянства, купцов и ремесленников. Появились книготорговцы, возрастала потребность в изготовителях пергамента, переписчиках, переплетчиках. Новая книжная эра XII–XIII вв. породила и новых читателей: кроме преподавателей и студентов, в мир литературы вошло много мирян.

Эволюция книги способствовала освобождению общественной и личной жизни из-под контроля религии. Книги для университетов и утилитарного назначения, которых становилось все больше, вытесняли книгу как произведение искусства. Корзина со свитками — типичная форма античной библиотеки — ушла в прошлое. Ей на смену пришла полка с книгами, а на смену пюпитру — рабочий стол с развернутыми и сопоставляемыми друг с другом книгами. Книгу стало легко держать перед собою, разворачивать, цитировать

а чтобы идти дальше и превзойти их. Распространенное изречение Бернара Шартрского гласит: «Мы — карлики, взобравшиеся на плечи гигантов. Мы видим больше и дальше, чем они, не потому, что взгляд у нас острее и сами мы выше, но потому, что они подняли нас вверх и воздвигли на свою гигантскую высоту». Позднее это изречение повторят Петр из Блуа, Алан Лилльский, Александр Неккам, Исаак Ньютон [103].

Книжная культура. Около 1140 г. в книжной цивилизации была перевернута монастырская страница и открылась схоластическая. Начался взлет книжной культуры. Одним из главных инициаторов нового искусства чтения был богослов и ученый из монастыря Святого Виктора под Парижем Гуго Сен-Викторский.

нужные страницы, а точная цитата — деталь, почти исключенная для Античности и совершенно обязательная для Средневековья. Удешевление книги произошло нескоро — бумага, которая в 30 раз дешевле пергамента, заменила его в XV в., во второй половине которого эпоха книги достигла расцвета [184].

С IV до XIII в. пергаментная книга была вне конкуренции. В истории письма феодальной эпохи папирусные и пергаментные материалы часто имели вторую жизнь в палимпсестах — стертых или смытых и новым письмом покрытых листах. Ко вторичному использованию старые материалы привлекались во времена, бедные материалом, когда его производство отставало от спроса. В эпоху Каролингского возрождения пускали в оборот старые, преимущественно античные, рукописи. Так, «Анналы» Лициниана, написанные письмом V в., были стерты в VI в. для грамматического трактата, а в IX или X в., стерев и его, написали текст Иоанна Златоуста. Известна рукопись, где письмом IV в. был написан текст Цицерона «О республике», смытый в VIII в. для комментария к псалмам Блаженного Августина. В некоторых странах Европы с XI в. господство пергамента перестало быть исключительным. От арабов пришел новый материал для письма, менее прочный, но более доступный и дешевый. Это бумага — раздавливаемая прессом и потом просушенная масса размоченного и разваренного льняного тряпья [24].

7.2. ПЕРЕВОДЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Возрождение образования началось в значительной степени благодаря усилиям мастеров-учителей и использованию латинских источников. До конца XII в. это происходило за счет содержавших новые идеи книг, переведенных с греческих и арабских оригиналов. Эти идеи, вливаясь сначала тонким ручейком, а затем мощным потоком, изменили интеллектуальную жизнь на Западе. Развивались традиции сохранения и передачи знаний, на первый план вышла переводческая деятельность [140], [160], [229], [260], [275].

Расширились дипломатические и научные контакты между византийскими, мусульманскими и латинскими дворами. Один из ранних и впечатляющих тому примеров — обмен посольствами ученых между дворами Оттона Великого во Франкфурте и Абд ар-Рахмана в Кордове в 950 г. Другой тип контактов иллюстрируется паломничеством Герберта Орильякского в Северную Испанию в 960-х гг. для изучения арабской математики. Еще один пример — рост византийского влияния после свадьбы Оттона и принцессы Феофано. Рассматриваемые поодиночке, эти события не имеют большого значения, но, объединенные вместе, они свидетельствуют о взращивании в умах людей Западе образа Арабского халифата и Византии как хранилища интеллектуальных богатств. Западные ученые-схоласты желали расширить объем знаний латинского христианства, и не было для этого лучшего пути, чем упорно искать контакты с интеллектуально превосходящими культурами.

Первые переводы с арабского, сделанные в X в. в Испании, посвящены трактатам по математике, устройству астролябии и армиллярной сферы. Веком позже Константин Африканский шел своим путем в монастыре Монте-Кассино в Южной Италии. Он перевел на латынь медицинские тексты,

включая работы Галена и Гиппократы, ставшие на несколько столетий основной медицинской литературой для Запада.

Переводы раззадорили аппетиты европейцев. В XII в. это стало основной ученой деятельностью в Испании. К сожалению, контакт со Средним Востоком в результате Крестовых походов имел минимальное значение для этого движения. Некоторые из переводчиков были испанцами, с детства испытывавшими арабское влияние, как, например, Иоанн Севильский — христианин, переводчик большого количества астрологических работ, или Гуго Сантальский, который переводил тексты по астрологии и гаданию, и наконец, один из самых способных — Марк из Толедо, между 1191 и 1216 гг. переведивший тексты Галена. Кельт Роберт Честерский, славянин Герман Далматинец, итальянец Платон из Тиволи прибыли в Испанию из-за границы. Они оказались в Испании, возможно, не зная арабского, но, найдя учителей, овладели языком. Иногда несколько переводчиков объединяли усилия и делали переводы в кооперации [160]. В Толедо под покровительством архиепископов Раймунда и Иоанна велась работа по переводу на латынь трактатов аль-Газали, Авиценны и Аристотеля.

Испанский философ Доминик Гундиссалин (ок. 1110–1190 гг.) в собственных работах, во многом основанных на взглядах, изложенных в переведенных им трактатах, соединил представления Боэция о разумной способности человеческой души с учением Авиценны об отделенном деятельном разуме. Последний отождествлялся с излучающим интеллигентный свет Богом, как Он представлен в августиновской концепции иллюминации. Это отождествление стало традицией в схоластике. Наибольшую известность обрело посвященное классификации наук сочинение «О разделении философии» (после 1140 г.). В нем были представлены три группы наук: пропедевтические (грамматика, риторика, поэтика), логические и философские — теоретические (физика, математика, теология) и практические (этика, экономика и политика). Выделены восемь отраслей физики, включая медицину, и семь отраслей математики. К наукам квадривиума Гундиссалин добавил оптику, науку о тяжестих и механические искусства. К числу последних относилась, в частности, техника шлифовки зажигательных стекол [355].

Выдающимся переводчиком с арабского на латынь был Герард Кремонский (1114–1187) [247]. Он происходил из Северной Италии, прибыл в Испанию в конце 1130-х или в начале 1140-х гг. в поисках Птолемея «Альмагеста», которого нигде не мог найти. Герард нашел копию трактата в Толедо и остался там, чтобы выучить арабский, а со временем перевел трактат на латынь. Он обнаружил много текстов и по другим предметам и за 35–40 лет (возможно, с помощниками) перевел большинство из них. Результаты его работы впечатляют: дюжина астрономических текстов, включая «Альмагест»; 17 работ по математике и оптике, в том числе «Элементы» Евклида и «Алгебра» аль-Хорезми; 14 работ по логике и натурфилософии, среди них труды Аристотеля «Физика», «О небе», «Метеорологика» и «О возникновении и уничтожении»; 24 медицинские работы, в состав которых входят «Канон» Авиценны и девять трактатов Галена. Всего получается около 80 книг, которые скрупулезно переведены человеком, разбиравшимся и в предмете, и в лингвистических тонкостях.

В Южной Италии сохранились общины, говорящие на греческом, и библиотеки, наполненные греческими книгами. Италия получила преимущества благодаря непрерывным контактам с Византийской империей. Одним из первых итальянских переводчиков был Иоанн Венецианский, ученый-правовед, поддерживавший связи с византийскими философами и сумевший перевести много работ Аристотеля. Целая серия книг по математике появилась в греко-латинских переводах в середине XII в., в первую очередь «Альмагест» Птолемея и «Элементы» Евклида. Изучение «Элементов» стало условием получения мастерской степени по математическим наукам. Тогда же появились переводы «Оптики» и «Катоптрики» Евклида.

Значительный вклад в передачу знаний внес шотландский философ, астролог, алхимик и переводчик Михаил Скот. Среди его трудов следует отметить метафизический трактат «Свет светов». Приблизительно с 1228 г. он служил при дворе императора Фридриха II Гогенштауфена в Палермо, где познакомился с итальянским математиком Фибоначчи. Скот заслужил славу мага и чернокнижника. Как прорицатель и астролог он описан в «Божественной комедии» Данте, как «великий некромант» — в «Декамероне» Боккаччо, как маг — в «Песни последнего менестреля» Вальтера Скотта.

Усилиями фламандского ученого, известного переводчика Виллема из Мёрбеке (1215–1286) латинский мир был обеспечен полной и надежной версией трудов Аристотеля и некоторыми работами его комментаторов.



Виллем вступил в Генте в Доминиканский орден, учился в Париже у Альберта Великого, в результате Крестовых походов посетил отделения ордена в греческих Фивах и Никее. По возвращении в Италию стал капелланом и исповедником нескольких пап. Он упомянут во введении к главному оптическому компендиуму Средневековья — фолианту, содержащему «Сокровище оптики» Альхазена и «Перспективу» Вителло. Знакомство Виллема с оптиками Иоанном Пеккамом и Вителло привело к совместной работе над «Перспективой».

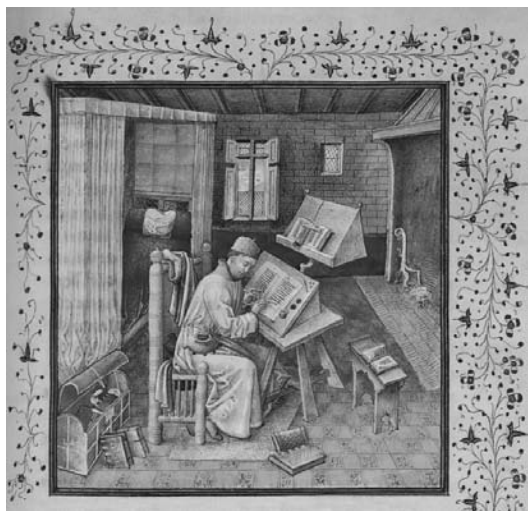


Рис. 7.7
Средневековая гравюра
с изображением монаха-переписчика



Рис. 7.8
Сцена расчета с переписчиком

Стараниями Виллема и других переводчиков XIII в. схоласты познакомились с античным философским и научным наследием основательнее, чем арабоязычные философы IX–XII вв.

На рисунке 7.7 показано изображение монаха-переписчика, занятого оформлением рукописи, а на рисунке 7.8 — сцена расчета с переписчиком.

Образованность и начитанность обрели повсеместное уважение.

7.3. СТАНОВЛЕНИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ

Впечатляющим достижением Средневековья, положившим начало традиции, которая жива и поныне, было создание университетов.

На рубеже XII–XIII вв. жажда познания получила такое распространение, что известный философ Гонорий Отенский резюмировал ее лапидарной формулой: «Невежество — изгнание человека, его отечество — наука». Представление об университетской жизни того времени дает серия иллюстраций с изображением университетской библиотеки (рис. 7.9), профессора на университетской кафедре (рис. 7.10) или занятий в аудитории (рис. 7.11). На закате Средневековья наука достигла равенства с рыцарством.

Типичная городская школа рубежа XI–XII вв. была небольшой, состоящей из одного преподавателя и 10–20 учеников. К началу XIII в. выросло и количество школ, и число обучающихся. В Париже, Болонье или Оксфорде число студентов измерялось сотнями [208]. Эти города обрели репутацию передовых центров в изучении свободных искусств, медицины, теологии и права, и туда потянулись студенты и преподаватели. В результате под эгидой школ появились свободные преподаватели, обучавшие студентов за плату индивидуально или в группах (как современные учителя музыки или танцев). Обучение обычно происходило на дому. Для защиты прав, привилегий, законной протекции (многие педагоги и учащиеся были иностранцами без прав гражданства) и общего продвижения взаимовыгодного благосостояния преподаватели и студенты организовывали свободные ассоциации, или гильдии, по образцу структуры гильдий ремесленников.

Термин *университет* (от лат. *universitas* — совокупность, общность) изначально не имел образовательного или научного смысла, обозначая просто объединение людей, преследующих общие цели. В 1221 г. он был использован в названии общины парижских преподавателей и студентов (*universitas magistrorum et scholarium*). Первые университеты не были привязаны к месту, зданиям или уставам, не имели земель, недвижимости, были мобильны и способны использовать угрозу уехать в другой город, чтобы добиться уступок от властей [260].

Университетские корпорации строились по двум моделям. В парижской модели преподаватели и студенты составляли единую общину, в болонской в университет входили только студенты.

Университеты с системой факультетов, учебными курсами, экзаменами, степенями, магистратурой и докторантурой — это наследие Средних веков. Трудно назвать точную дату возникновения университетов в Париже, Болонье, Оксфорде и Кембридже. Они формировались длительное время из существовавших до того школ, и уставы были написаны позже. Считается, что



Рис. 7.9
Библиотека
средневекового университета



Рис. 7.10
Профессор,
обращающийся
к студентам
с университетской
кафедры



Рис. 7.11
Миниатюра с изображением
аудитории университета, XII в.

первым университетом был Болонский. Его право присуждать магистерские степени было получено с университетским статусом в 1154 г., тогда же император Фридрих Барбаросса предоставил болонским профессорам и студентам привилегии. Формально свой статус от римского папы Болонский университет получил в 1252 г. Точно так же парижские профессора и студенты получили привилегии от папы Целестина III в 1174 г., а от короля Франции Филиппа II Августа — в 1200 г. При этом Парижский университет только в 1215 г. получил статус от папского легата Робера де Курсона, а в 1231 г. вышла булла папы Григория IX «*Parens Scientiarum*» («*Основание наук*»). В ней содержалась похвала богословию, которое в университетской системе, по выражению отца Шеню, «становится наукой».

Годом основания университета в Оксфорде считается 1220 г., хотя лишь в 1254 г. папа Иннокентий IV официально предоставил ему привилегию выпускать магистров. Более поздние университеты использовали в качестве модели один из перечисленных. В первые годы XIII в. университеты были

основаны в Кембридже и Монпелье. Неаполитанский был основан в 1224 г. императором Фридрихом II, Лиссабонский — в 1228 г. Римский Studium urbis (городское училище) играл роль университета, где много внимания отводилось точным наукам, в частности оптике. Карта расположения средневековых европейских университетов с условными датами их основания представлена на рисунке 7.12 [125], [148], [183], [190], [212], [213], [260].

Присуждение степени магистра означало, что студент становится членом гильдии преподавателей, по аналогии с приемом новых членов, получавших титул мастера, в ремесленные гильдии [159]. Университет не мог присуждать степень, если это право не было дано ему папой, императором или королем. К началу Реформации существовал 81 университет, из них 33 были соз-



Рис. 7.12

Карта средневековых университетов с датами их основания [260]

даны буллами, 15 — королевскими и императорскими хартиями, 20 имели буллу и хартию, а 13 — ни того, ни другого. Ученая степень, одобренная одним из вселенских правителей, признавалась во всех христианских странах, тогда как степень, присуждаемая с разрешения короля, обычно действовала в пределах королевства. В некоторых случаях магистерская степень давала ее обладателю право преподавать где угодно; это относилось, в частности, к выпускникам Оксфордского, Болонского и Парижского университетов. Впервые это право (*ius ubique docendi*) упоминается в 1233 г. в документе папы Григория IX в отношении Тулузы. К концу XIII в. оно стало юридическим признаком университета [11].

Для получения средневековой школой права считаться университетом она должна была обладать определенными характеристиками: набором обязательных учебных текстов для лекций, программами обучения, рассчитанными на определенное количество лет, и принятой практикой присуждения степеней [11].

Поскольку со временем университеты укрупнялись и по численности учащихся, и по количеству преподавателей, возникла необходимость в совершенствовании структуры. В каждом из них были свои особенности, но общим примером может служить Парижский, в котором появились четыре факультета: начальный факультет свободных искусств (самый крупный из четырех) и три выпускных факультета — правовой, медицинский и теологический. Изучение свободных искусств рассматривалось как подготовка к учебе на трех высших факультетах, поступление на которые зависело от результатов испытаний по курсу искусств. Поскольку число магистров на факультете искусств было много больше, чем преподавателей на других факультетах, первые, как правило, контролировали университет.

Обычно в университетах имелись все четыре факультета, но часто один превосходил по значимости остальные. Так, Болонский университет специализировался главным образом на юриспруденции, Парижский — на теологии, Монпелье — на медицине. Существовала иерархия факультетов, согласно их месту в учебном плане и уважению, оказываемому каждому из них. В нижней части пирамиды располагался подготовительный факультет (факультет искусств), где преподавали искусства тривиума и квадриума. В нем часто отдавалось предпочтение дисциплинам, которые мы сегодня назвали бы точными науками.

Учеба в университете обходилась дорого, в том числе и потому, что студенты годами должны были жить в городе, где цены на жилье и питание постоянно росли. Не многие могли позволить себе учиться больше двух лет. Некоторые благотворители основывали или субсидировали дома, где могли бесплатно жить и питаться те, кого мы сегодня называем стипендиатами. Так возникли коллежи⁴, из которых самыми знаменитыми в Париже были Сорбонна (1253), а после нее д'Аркур и Наваррский коллеж, основанные в начале XIV в. Сорбонна принимала бедных студентов-богословов, а в Оксфорде был открыт Мертон-колледж для студентов-математиков.

⁴ Слово «колледж» восходит к латинскому *collegium* — коллегия; в свою очередь «колледж» — средневековое заимствование этого же слова из французского языка в английский.

С XIII в. университеты и коллежи способствовали формированию содружества бывших соучеников, занявших высшие должности в церковной и светской иерархии.

Преподавателями руководили избираемые ими ректоры. Ректор находился под надзором канцлера, назначаемого местным епископом. Влияние канцлера со временем сошло на нет, и университеты добились почти полной независимости. Они ускользали от светской власти, но, будучи учреждениями церковными, вынуждены были терпеть вмешательства власти духовной. Было несколько эпизодов университетской жизни, когда церковь решительно вмешивалась, но большая часть университетов управлялась ею «редко и с выдающимся изяществом под охранительным патронажем и протекцией с минимальным внешним давлением» [233].

В Северной Европе зачисление в университет обычно даровало церковный статус. Это не означало, что студенты намеревались стать или становились священниками или монахами, но они попадали под покровительство церкви и получали определенные привилегии. Студент записывался в члены группы мастера, чьи лекции он посещал три или четыре года, до того как допускался к бакалаврскому экзамену. Если он его выдерживал, то становился бакалавром искусств со статусом наемного подмастерья и получал разрешение на чтение лекций под направляющим оком мастера, пока продолжалось обучение. В возрасте примерно 21 года, прослушав лекции по требуемым дисциплинам, студент держал испытание на степень магистра искусств. Прохождение этого экзамена давало право членства на факультете искусств, где магистр мог читать лекции по учебному плану.

Семь свободных искусств больше не были жесткими рамками. Грамматика теряла свою первостепенность, уступая место логике. Математические предметы квадривиума, никогда не доминировавшие в средневековой школе, преподавались на достойном уровне. Программа искусств формировалась вокруг трех философий: моральной, натуральной и метафизики. И, конечно, вокруг медицины, правоведения и теологии, которые стали рассматриваться как передовые предметы выпускных факультетов, требующие изучения искусств как предварительного условия.

Искусства квадривиума изучались в сжатом виде. Арифметика и геометрия занимали примерно 8–10 недель в программе начального обучения, желающие изучить их глубже должны были обращаться в более крупный университет. Астрономия давалась в большем объеме, как наука для измерения времени и установления календаря или как теоретическое обоснование астрологической практики в связи с медициной. Изучались греческие и арабские тексты в переводах или книги, написанные для этих целей. Уровень астрономического знания был невысок, но в ряде случаев эта дисциплина изучалась глубоко и университеты выпускали образованных астрономов.

Средневековые университеты, несмотря на различия в специализации, развивали общий курс, состоявший из одинаковых дисциплин, изучаемых по одним и тем же текстам. Это способствовало освоению греческих и арабских учений через переводы XII в., которые обеспечили европейских ученых собранием источников. Общий курс способствовал высокой мобильности студентов и профессоров. Профессиональная мобильность об-

легчалась благодаря праву преподавать везде, которое даровалось магистру за освоение курса. Ученый, достигший магистерской степени в Париже, мог преподавать в Оксфорде без риска получить «интеллектуальное несварение желудка».

Впервые в истории появились образовательные интернациональные программы, созданные учеными, осознавшими профессиональное и интеллектуальное единство и предложившими их стандартизацию для поколений студентов.

В средневековых университетах греческая и арабская науки наконец «нашли свой законный охраняемый дом» [253]. Иногда студентам-латинянам даже предоставлялась возможность прослушать курсы мусульманских преподавателей (рис. 7.13).

Стереотипная картина рисует средневекового университетского профессора бесхребетным, зависимым и рабским последователем Аристотеля и Отцов Церкви (как можно быть одновременно рабом и Аристотеля, и церкви, стереотип не объясняет!), боящимся на йоту отойти от мнения авторитетов. Да, теологические рамки существовали, но внутри их пределов магистр имел большую свободу мысли и самовыражения. Не было ни теологической, ни философской доктрины, которая не подвергалась бы критике или сомнениям. Те, кто специализировался на естественных науках, не чувствовали себя оторванными от античных или религиозных авторитетов [253].

Светские и церковные правители часто защищали универсантов. В 1200 г. Филипп II даровал привилегии студентам Парижского университета, предоставив им право на суд более благосклонный, чем городской. Папа Гонорий III в 1220 г. поддержал Болонский университет, чьи академические свободы ущемлялись. Когда канцлер Парижского университета стал настаивать, чтобы студенты приносили клятву верности ему лично, в дело вмешался папа Иннокентий III. Когда местный епископ покусился на автономию Парижского университета, папа Григорий IX выпустил буллу «Parens Scientiarum», в которой встал на сторону руководителей университетских коллегий, — по ней право самоуправления распространялось на правила обучения и проведение исследований. «Эта булла ознаменовала возникновение университета как юридически оформленной интеллектуальной корпорации, целью которой является обучение студентов и развитие науки» [161].

Учебный процесс в университетах осуществлялся по программам основного и дополнительного образования. В Болонье готовили магистров права, в Париже — искусства и теологии. Студенты низшей ступени (*артисты*)



Рис. 7.13
Коллегия Генриха Германца.
Миниатюра из книги итальянского гуманиста
Лауренцио ди Вольтолино, XV в.

ходили на лекции и принимали участие в классных диспутах. Им читали лекции по античным текстам, которые комментировались; давались вопросы и ответы к ним. Вопросы ставились в ходе ординарных диспутов (были еще и официальные), для которых одни студенты готовили аргументы «за», а другие — «против». В конце диспута преподаватель определял его исход, давая окончательный ответ на вопрос. Для получения степени бакалавра искусств студент должен был аргументированно отвечать на вопросы, удовлетворяющие профессору [11]. Диспуты вызывали настолько горячий интерес, что нашли отражение в художественных произведениях с изображением вымышленных дискуссий между учеными, жившими в разные века (рис. 7.14).

Новые знания по математике, астрономии, физике и медицине были особенностью интеллектуальной жизни XIII в., определившей университетскую программу, которая должна была привлекать лучших ученых, преподавателей и студентов. В число университетских учебников для факультетов искусств вошли трактаты по оптике. Для ведущих европейских университетов XIII–XIV вв. основными естественнонаучными текстами были «Элементы» Евклида, «Альмагест» Птолемея, «Алгебра» аль-Хорезми, «Сокровище оптики» Альхазена и «Канон врачебной науки» Авиценны.

В Оксфордскую программу для бакалавров, намеревавшихся получить магистерскую степень, входили следующие труды, которые необходимо было прочесть. Свободные искусства: грамматика — Присциан; риторика — «Риторика» Аристотеля (три семестра), или «Тописка» Боэция (ч. 4), или «Риторика» Цицерона, или «Метаморфозы» Овидия, или стихи Вергилия; логика — «Об истолковании» Аристотеля (три семестра), или «Тописка» Боэция (ч. 1–3), или «Первая аналитика» Аристотеля, или «Тописка» Аристотеля; арифметика и музыка — Боэций; геометрия — Евклид, Альхазен или «Перспектива» Вителло (рис. 7.15); астрономия — «Теория планет» Кампануса



Рис. 7.14
Изображение вымышленной дискуссии
между Аверроэсом и Порфирием,
XII в.



Рис. 7.15
Занятия геометрией, представленной
в аллегорической форме,
1350 г.

(два семестра) или «Альмагест» Птолемея. Дополнительные тексты по естественным наукам: «Физика», или «О небе» (три семестра), или «О свойствах элементов», или «Метеорологика» (три семестра), или «О растениях», или «О душе», или «О животных», или любые трактаты из свода сочинений «Parva Naturalia» Аристотеля. По моральной экономике — «Этика», или «Экономика», или «Политика» Аристотеля в течение трех семестров. По натурфилософии — «Метафизика» Аристотеля два семестра (или три, если кандидат не сдал экзамен). Получение степени магистра занимало до трех лет [11].

Что касается астрономических трактатов, то, помимо уже упомянутой «Теории планет», написанной Кампанусом (хотя его авторство оспаривается), в университетах изучался и трактат «О мировой сфере» английского астронома и математика Иоанна Сакробоско (1200–1256). В обоих компендиумах много места уделено принципам углового визирования и инструментарию [13].

«Теория планет» подняла преподавание планетарной астрономии на новый уровень. В ней даны основы теории для каждой из планет, сопровождаемые диаграммами. Например, движение Солнца по эклиптике объясняется как результат непрерывного движения с запада на восток относительно эксцентричного круга деферента со скоростью $59'8''$ в день. При этом сам круг движется звездной сферой с востока на запад со скоростью один оборот в день. В моделях Марса, Юпитера и Сатурна они движутся однообразно по эпициклу с запада на восток, при этом центр эпицикла движется также вокруг деферента. Движение эпицикла вокруг деферента происходит равномерно по отношению к точке экванта Q ; центр деферента находится на полпути между эквантом и центром Земли. «Теория планет» стала стандартным учебным пособием по астрономической теории, противопоставив математические модели Птолемея возможным противникам и определив астрологическую терминологию на несколько веков вперед.

Трактат «О мировой сфере» Иоанна Сакробоско (рис. 7.16) обобщил астрономические труды арабов [131]. Несмотря на отсутствие оригинальности и ряд ошибок, этот трактат оказался популярным и использовался при изучении астрономии в средневековых университетах, выдержав 74 издания. В нем рассмотрены земной шар, небесные сферы, порядок восходов и заходов звезд, орбиты движения планет. Подробно объяснены особенности лунных и солнечных затмений, периоды их чередований, а также метеорологические явления, относимые к подлунной сфере — кометы, метеоры, радуга, гало. Со знанием дела изложены различные варианты применения визирных приспособлений — армиллярных сфер, астролябий, квадрантов, секстантов. Уделено внимание и гномонике — науке о способах теневого визирования для измерения промежутков времени. Сакробоско обсуждает применение угломерных инструментов не только в астрономии, но и в геодезии и военном деле. Это подчеркивает единство прибор-



Рис. 7.16
Иоанн Сакробоско,
автор трактата
«О мировой сфере»

ного и методического обеспечения задач прямого и обратного визирования в астрономии, картографии и гномонике. Эти задачи продолжали сосуществовать в латинской *Перспективе* так же, как они объединялись в античной оптике.

Трактаты Кампануса и Сакробоско не охватывали всей птолемеевой астрономии и способов точных астрономических вычислений. Эту функцию выполнили «Толедские таблицы», а позже, после 1275 г., «Альфонсовы таблицы», составленные при дворе Альфонсо X Кастильского. Эти таблицы были настоящим кладом астрономических данных. Они оставались стандартным пособием до XVI в., и с них начинается подлинная западная традиция математической астрономии [358].

Таким образом, система Птолемея, разработанная в I в. и фактически забытая в Европе «темных веков», была возвращена к жизни в XI в. оптиком Альхазеном, а подхваченная в работах Кампануса и Сакробоско, стала широко известной на Западе в XIII в. Роджер Бэкон был первым западным ученым, серьезно обсудившим ее в одном из трудов. На ее основе профессор Венского университета Георг Пурбах написал трактат «Новая теория планет» (1454), ставший на два столетия самым популярным руководством по астрономии. Система Птолемея внесла большой вклад в возрождение астрономии и во многом сформировала астрономические взгляды Коперника.

Если говорить о схоластической мысли в университетах XIII в., то она существовала в них главным образом в форме *комментариев* и *сумм*. Первые наряду с диспутами ускоряли и вырабатывали оригинальное знание, обращались к современным проблемам, опираясь на традицию и развивая ее. История комментария — это история неуклонного постепенного освобождения философской мысли, имеющей отправной точкой традицию. Другим плодом схоластики XIII в. были суммы — подкрепленный документами и аргументированный синтез доктрин в области философии, которая не успела отделиться от богословия. Первая университетская сумма была составлена английским францисканцем Александром из Гэльса в 1230 г.

Доминиканец Альберт Великий, первый немец, получивший в 1248 г. степень магистра богословия в Парижском университете, расширил границы знания, занимаясь теми областями наук или искусств, которые не преподавались в университете. Он обращался к трудам арабских философов аль-Фараби, Авиценны и Аверроэса. Помимо энциклопедизма, труды Альберта ценны настойчивым поиском равновесия между философией и богословием. Он был учителем Фомы Аквинского.

Наступала эпоха новых авторитетов.

7.4. XIII–XIV вв.: СМЕНА АВТОРИТЕТОВ. ПЕРСПЕКТИВИСТЫ

Упадок шартрских школ в конце XII в. происходил на фоне зарождающегося Парижского университета. Со времен Абеяра Париж стал самым значительным центром логических исследований. Он оставался таковым все XIII столетие, и это определило сформировавшийся там тип философии и теологии.

Основой и методом парижской науки стала диалектика. Английская культура XIII в., напротив, напоминала шартрскую, обогащенную привнесенным в философию и науку арабским платонизмом [78].

Шартр оказал глубокое влияние на английскую мысль XIII в. После Алкуина Англия и Франция имели одну культуру. Цистерцианское движение было с самого начала англо-французским, и в Шартр приезжали многие английские преподаватели. Здесь сложилась поистине англо-французская среда, гуманистическая и математическая. Оксфорд, где вскоре появятся науки, воспринятые от арабов, останется верен идеалу, которому служил Шартр: сохранится августиновский платонизм, студенты будут знать языки науки, в частности арабский, владение которым необходимо для развития наук о природе, будет преподаваться математика, которой пренебрегали парижские теологи [334].

Расширение университетской сети, укрепление позиций натурфилософского знания в рамках схоластики и потребность двигаться за пределы античной классики и арабских достижений — все это определило появление плеяды европейских ученых-священников, по-новому взглянувших на общепризнанные философские и научные проблемы. Это течение затронуло и оптические знания. Среди ученых было несколько *перспективистов* — авторов трактатов с названием «Перспектива». Эта наука, преподносившаяся европейскому читателю как некое синтетическое знание, была наследницей греческой *оптики* и арабской *аль-Маназир*.

Латинская форма *Perspectiva* обозначала свод гипотез, законов, аксиом и теорем, посвященных зрительному восприятию, строению глаза и механизму зрения. Туда же относили угломерную технику и визирные приспособления, катоптрику, диоптрику, природу света и цвета, световые явления в атмосфере, гномонику и построение стереографических проекций. В круг интересов *Перспективы* включались естественнонаучные аспекты оптического знания и метафизические рассуждения.

Многовековая традиция передачи знаний дала свои плоды, и XIII в. продемонстрировал интеллектуальный прорыв: десятки первоклассных ученых-схоластов создавали новые философские системы, вели физические исследования и расширяли пространство рационального знания. Многие из этих мыслителей оказали влияние на прогресс в оптике.

Католический епископ из английского города Линкольн Роберт Гроссестест (ок. 1175–1253 гг.) стал классиком световой метафизики, разработчиком теории «иерархии световых форм». Немецкий доминиканец, епископ Регенсбурга Альберт Великий (ок. 1200–1280 гг.) писал энциклопедические трактаты о свете и зрении. Английский францисканец Роджер Бэкон (1210 или 1214 — после 1292 гг.) считается основателем экспериментального метода и ярким пропагандистом науки *Перспективы*. Генерал францисканского ордена итальянец Бонавентура (1221–1274) был противником астрологического предопределения и последователем учения о причинно-следственных связях. Польский философ и естествоиспытатель Вителло своей многотомной «Перспективой» составил конкуренцию греческим и арабским трактатам по оптике. Его годы жизни примерно совпадают с датами рождения и смерти Фомы Аквинского (1225–1274), достигшего вершин средневе-

ковой схоластики и основавшего *томизм* — философскую систему отношений религии и науки, принятую католической церковью как официальная доктрина. Наконец, творивший позже Фомы папский теолог францисканец Иоанн Пеккам (ок. 1230–1292 гг.) написал свой вариант «Перспективы», а викарий Тевтонии доминиканец Дитрих Фрейбергский (1250–1310) создал теорию радуги и разработал многие оптические проблемы [103].

Одно только это перечисление характеризует XIII в. как новый этап развития научного знания в Европе. Церковь поддерживала интеллектуальное совершенствование своих чад и пастырей. В этот процесс внесли вклад многие монахи и нищенствующие ордена, прежде всего францисканцы и доминиканцы. Неудивительно, что в 1230 г. Доминиканский орден поручил монаху Винсенту из Бове собрать воедино знание, необходимое для образования братьев, не обучавшихся в университетах. Винсент осуществил большую часть этой работы в аббатстве Руайомон, где целая команда подбирала для него тексты. Расположение материалов и их организация были выполнены Винсентом. В результате было создано «Великое зеркало» («*Speculum majus*») в трех частях: «Природное зеркало», «Доктринальное зеркало» и «Историческое зеркало». Репутация Винсента была столь высока, что после смерти ему приписывали апокрифический труд «Нравственное зеркало».

Жанр *зерцал* был признаком поздней схоластической культуры. На его появление повлияла аналогия физического отражения в зеркале и метафизической рефлексии в душе человека. В «Перспективах» позднего Средневековья описаны особенности формирования образов в сферических зеркалах — уменьшенных или увеличенных, искаженных или перевернутых. Так и людские души — не идеальные плоские зеркала; они так же трансформируют действительность, как тусклые или кривые зеркала. Расцвет метафизики зеркальности и распространение литературных зеркал тесно переплелись в XIII в. как две стороны схоластической традиции.

Обратимся к трудам ученых-монахов этого периода. Роберт Гроссетест занимал епископскую кафедру в Линкольне, самом крупном епархиальном округе Англии, и был первым канцлером Оксфордского университета (рис. 7.17). Он считался одним из самых образованных людей своего времени и, в отличие от большинства философов, владел греческим [129]. На Гроссетеста оказала влияние шартрская школа и ее глава Тьерри. Гроссетест первым поэтапно описал процедуру научного эксперимента. Благодаря таким мыслителям, как он, в XIII в. зародились основы научного метода [156]. Гроссетест занимал особое место в истории английской средневе-



Рис. 7.17
Гроссетест — основоположник световой метафизики.
Портрет XIV в.
Британская национальная библиотека, Лондон

особое место в истории английской средневе-

ковой мысли как философ, теолог и переводчик. Ему мы обязаны переводом «Никомаховой этики» Аристотеля и комментарием к ней. Гроссетест — автор обширной компиляции о Гексамероне, в которой дано учение о свете, развитое им во многих произведениях [27]. Ученый-оптик, математик и астроном, он известен как основатель оксфордской школы и вдохновитель ее традиций.

Помимо теологических работ, Гроссетест был автором естественнонаучных трактатов. Для истории оптики важными являются его труды «О сфере», «О свете, или О начале форм», «О телесном движении и свете», «О линиях, углах и фигурах, или О преломлениях и отражениях лучей» и «О радуге и зеркале». Названия работ говорят сами за себя. Особенностью научно-философского творчества Гроссетеста является гармоническое единство теории познания, учения о физической природе универсума и представления о космогоническом процессе в общей концепции метафизики света. При жизни было издано лишь несколько его оптических трудов. Он оказал большое влияние на философа и естествоиспытателя, яркого представителя оксфордской школы Роджера Бэкона.

Современник Гроссетеста монах-доминиканец епископ Альберт Великий (рис. 7.18) был исследователем природы и автором комментариев к сочинениям Аристотеля. Более половины трудов Альберта составляют теологические работы, остальные — по физике, астрономии, астрологии, алхимии, минералогии, физиологии, психологии, медицине, естественной истории, логике и математике.

В трактате «О минералах» Альберт писал, что цель естественных наук состоит «не в том, чтобы принимать мнения других, то есть о чем повествуют люди, а в том, чтобы самостоятельно исследовать действующие в природе причины». Он настаивал на важности непосредственного наблюдения, и его отказ принимать на веру утверждения авторитетов послужил вкладом в научный образ мышления [11]. Альберт был первым, кто предложил интерпретацию Аристотеля в среде западного христианства. Он был готов исправлять или отбрасывать доктрины Аристотеля, которые считал фальшивыми, и старался интерпретировать его труды для пользы доминиканских братьев.

Альберт проповедовал, что всему сотворенному присуща причастность к определенной форме, соединенной или не соединенной с материей, качественно различной в надлунном и подлунном мирах. Он учил, что формы вещей излучаются некоей первопричиной существования всего того, что есть. Однако множественность и разнообразие вещей нельзя объяснить процессом погружения света форм во тьму материи и возрастающей отдаленностью твари от Бога, ибо бытие всякой вещи изначально имеет свое основание в замысле



Рис. 7.18
Альберт Великий



Рис. 7.19
Аллегория Философии.
Гравюра А. Дюрера,
1502 г.



Бога о мире. Для определения характера отношений между различными уровнями нисходящей иерархии сущностей Альберт Великий использовал неоплатоническую по духу терминологию метафизики света. Как ученый, в чьих трудах были представлены все области естествознания, он ввел в обиход средневековой мысли ранее недоступную для нее информацию, содержащуюся в сочинениях Аристотеля и арабских ученых. Он изучал кометы и лунную радугу, отразив наблюдения в трактате «О небесных явлениях». Неслучайно образ Альберта Великого явился одним из символов, изображенных на гравюре Альбрехта Дюрера «Аллегория Философии» (рис. 7.19) [118].

Дюрер изобразил Философию как царящую на троне, в венце и со скипетром. Она держит три книги, обозначающие сферы ее господства: логику, этику, натурфилософию. От монограммы Дюрера к сердцу Философии идет шарф, на котором обозначено восхождение человека от жизни чувственной через семь свободных искусств, т. е. через жизнь деятельную, к жизни созерцательной. Делаем человеческим посвящена верхняя надпись: «Софией зовут меня греки, латиняне — сентенцией, египтяне и халдеи меня основали, греки записали, латиняне перевели, германцы распространили». В четырех углах листа представлены четыре времени года, четыре ветра, четыре элемента (природные стихии), четыре возраста и четыре темперамента. Четыре медальона отмечают основные ступени в развитии философии как суммы человеческого знания. Они следуют по часовой стрелке. Первый посвящен египетским жрецам и халдеям, их представляет Птолемей, и весь этап можно истолковать как пребывание философии в лоне религии, связанной с культом Солнца и занятиями астрономией. Второй медальон отдан греческим философам, их представляет Платон, и философия выступает как логомудрие в своем собственном виде. Третий медальон посвящен латинским риторам и поэтам, их олицетворяют Цицерон и Вергилий; это этап, когда мудрость принимает художественную форму, сливается с поэзией, музыкой и геометрией. Германские ученые и их представитель Альберт Великий, которым посвящен последний медальон, олицетворяют этап, связанный с моментом синтеза всего доступного знания.

Авторитетность, с которой Альберт обращался к любому предмету, объясняет, почему он был назван Великим при жизни. Его выдающийся последователь Роджер Бэкон, нетерпимый к интеллектуальным соперникам, отзывался об Альберте неизменно уважительно.

Францисканец Бэкон (рис. 7.20) подчеркивал важность наблюдений для познания физического мира. Он преподавал в Оксфорде, прославился своими трудами по математике и оптике.



Провозглашая опыт и исследование, а не слепую веру основой постижения истины, Бэкон не щадил авторитетов, включая кумиров схоластики Альберта Великого и Фому Аквинского. Его идеи в астрологии были сведены в «предложения», осужденные епископом Этьеном Темпье. Этим воспользовались враги, чтобы в 1278 г. заключить Бэкона в тюрьму. Известно, что он был освобожден в 1292 г. К этому времени им было написано последнее произведение — «Компендиум теологии». Дата смерти Бэкона неизвестна. История его жизни легла в основу средневекового романа «Знаменитая история монаха Бэкона, содержащая также чудеса, совершенные им при жизни, и рассказ о его смерти». В романе Бэкон выведен в образе предшественника доктора Фауста [254].

Научные труды Бэкона представляли собой попытки убедить церковные власти в полезности нового учения по натурфилософии, математическим наукам и медицине. Он доказывал, что новая философия есть священный дар, годный для проверки работ по вере, а научное знание жизненно необходимо для интерпретации Священного Писания. Он утверждал, что астрономия составляет основания для религиозного календаря, астрология позволяет заглянуть в будущее, экспериментальная наука учит, как продлить жизнь, и что *Перспектива* позволит создать приспособления для обращения неверующих. Его усилия были направлены на реализацию формулы св. Августина «философия — служанка теологии», но с необходимостью приспособить ее к новым обстоятельствам. Объем знаний вырос, причислять науки к служанкам религии становилось все труднее. Естественные науки своим существованием оправдывали религиозную полезность. Несмотря на то что есть только одна «совершенная мудрость» и «в Святом Писании находятся корни всей правды, теология является госпожой для всех наук, которые также необходимы, поскольку без них не достигнуть результатов» [123].

Бэкон продолжил оптическую программу Гроссетеста, вдохновленный его мастерством в математических науках. В распоряжении Бэкона находились основные труды греческой Античности и средневекового ислама по оптике. Он изучил труды Альхазена и Птолемея и написал собственные сочинения «О Перспективе» и «О зеркалах». В трактате «Opus majus» («Большой труд») Бэкон обосновал оптические теоремы геометрическими построениями. Согласно легенде он создал камеру-обскуру, что на самом деле неправда — ее устройство знали еще Аристотель, Птолемей и Альхазен. Другая легенда гласит, что Бэкон был заключен в тюрьму за изобретение очков, которые считались творением дьявола. И эта история не вполне правдоподобна. Но нет дыма без огня: оптические достижения Бэкона были действительно впечатляющими.

Под покровительством папы Климента IV Бэкон за год с небольшим написал три научных трактата объемом около тысячи страниц. Климент направил ему дружеское послание: «Мы желаем и повелеваем вам именем апо-



Рис. 7.20
Роджер Бэкон —
английский ученый
и философ, последователь
Гроссетеста

стольской власти нашей, чтобы вы, невзирая ни на какие воспрещения со стороны какого бы то ни было прелата и всего учреждения вашего ордена, прислали бы нам по возможности скорее четко переписанное сочинение ваше». Возможно, папа надеялся решить проблемы слабого зрения, используя увеличительные стекла Бэкона, — доподлинно известно, что Бэкон подарил ему одно такое стекло.

Даже краткое изложение деятельности трех ученых-монахов XIII в. — Гроссетеста, Альберта и Бэкона — подтверждает мысль о проникновении рационального знания в общеполитическую интеллектуальную сферу. Были приведены лишь примеры из оптики, однако схожей была ситуация с механикой, астрономией, картографией, разделами математики. Подспудно назревал конфликт между теологией и натурфилософией. Одним из деятелей, прочувствовавшим эти изменения, стал итальянский францисканец Бонавентура.



Рис. 7.21
 Фома Аквинский — основатель официального философского учения католической церкви — томизма

Бонавентура не смог создать целостной концепции, способной примирить традиции католической церкви и обогащенный античным и арабским наследием бурлящий мир университетских аудиторий. Попытку создания такой философской системы предпринял ученик Альберта Великого доминиканец Фома Аквинский, или Аквинат (рис. 7.21). Его по праву называют «самым крупным схоластом, гением метафизики и восхитительным по масштабу умом. Его логическая система поражает прозрачной ясностью и органичностью связей. Он был скорее аристотелевского, чем платоно-августинского круга мыслителей» [64].

Позиция Аквината на первый взгляд кажется неотличимой от многих предшественников: она состояла в признании двойственной природы наук — естественных (арифметика, геометрия, физика и др.) и сверхъестественных (теология, которая дает истинное знание). Он утверждал, что философия и наука не более чем преамбулы веры и что теология благотворно влияет на науку и философию, приобщая их к совершенному знанию, получаемому через Откровение.

Как и Альберт, Фома надеялся разрешить проблему веры и разума через определение связи языческого учения и христианской теологии. Философия в качестве служанки продолжала подчиняться теологии, и она должна была демонстрировать свою полезность и ответственность. Поэтому Фома предлагал расширить область ее применения и повысить статус. В XIX в. томизм стал официальной доктриной католической церкви, но своими современниками Фома рассматривался как опасный радикал [52].

Фома Аквинский в «Сумме теологии» упорядочил философские представления эпохи. Он утверждал, что природа завершается в благодати, разум — в вере, а философское познание и естественная теология, основанная на аналогии сущего, — в сверхъестественном Откровении. Он проповедовал,

что человек есть единство души и тела, а материальный мир божествен и достоин познания. Его усилиями были заложены основы христианского понимания природы и создана единая физическая картина мира. Схоластическую теологию он преобразовал в научную систему, ставшую на 700 лет официальным учением церкви. Его учение привлекало многих философов, а образ — художников. На фреске итальянского мастера Микелино (рис. 7.22), кроме изображений теолога и студентов, показано окно, из которого виден баптистерий Флоренции, придающий конкретность сцене.

Настаивая на превосходстве богословия над прочими областями знания, Фома, по выражению Этьена Жильсона, обнаруживал «удивительную веру в силу разума». Он сближал так называемое *богословие снизу* (знание о Боге и мире, которое человек способен добыть при помощи разума) и *богословие свыше*, демонстрирующее Божественную истину, которая снисходит на человека помимо разума, путем Откровения [42] (рис. 7.23). Однако усилия Фомы Аквинского по сплочению науки, философии и теологии не предотвратили их разделение и переход от сотрудничества к взаимному отрицанию, противостоянию и вражде.

Если Гроссетест, Альберт и Аквинат представляют ценность для истории оптики своими метафизическими аллегориями, то трое других европейских мыслителей XIII в. — Роджер Бэкон и его последователи Пеккам и Вителло — стали истинными столпами средневековой оптики в ее латинизированной *перспективистской* форме. Благодаря перспективистам оптические теории Альхазена, содержащие физико-математический и физиологический подходы, стали доминирующими в западном мышлении. Когда натурфилософия XIV в. касалась теории света и зрения, ее почти слово в слово заимствовали у Альхазена и Бэкона.

Научные труды Иоанна Пеккама посвящены математике, астрономии и оптике.



Рис. 7.22
Урок диалектики
св. Фомы Аквинского.
Фреска Доминико ди Микелино.
Библиотека Лауренциана,
Флоренция XV в.



Рис. 7.23
Триумф св. Фомы Аквинского.
Беноччо Гоццолли, 1471 г.
Лувр, Париж

В трактате «О сфере» Пеккам повествует о продолжительности дней, причинах затмений, прохождении света через различные по форме отверстия. «Общая Перспектива» Пеккама была напечатана в Милане в 1482 г. (до «Перспективы» Вителло и латинского перевода «Сокровища оптики» Альхазена) и в XIII–XVI вв. стала основным текстом по оптике в университетах Парижа, Саламанки, Лейпцига, Вюрцбурга, Праги, Кракова. Она выдержала 12 изданий и была посвящена вопросам видения и природе света и цвета. Здесь Пеккам следовал за Альхазеном, но интерпретировал его идеи под углом зрения своего предшественника Бэкона и творившего одновременно священника Вителло, автора основного (после труда Альхазена) средневекового учебника по оптике [251].

Вителло находился в Ватикане в то время, когда туда был доставлен «Opus majus» Бэкона. В 1271 г. в соавторстве с Виллемом из Мёрбеке он написал свой главный трактат «Перспектива» в десяти книгах, задуманный как сумма средневековых знаний по оптике. Трактат был издан лишь в 1535 г. [366]. Основной объем научной информации был заимствован из сочинения Альхазена «Сокровище оптики» [284]. Последнее на латинский манер также называли «Перспектива, или О видимых явлениях». Кроме того, Вителло использовал труды Евклида, Аполлония Пергского, Герона Александрийского, Птолемея, аль-Кинди и Роджера Бэкона. Он приводит теоремы, доказанные Птолемеем, Альхазеном и Бэконом. Геометрические рассуждения и доказательства сопровождаются рисунками, дошедшими до нас в копиях XVI в.

Несмотря на откровенную компилятивность, недостатки и ошибки, трактат Вителло оказал глубокое влияние на последователей — Леонардо да Винчи, математика Луку Пачоли, Николая Коперника и Иоганна Кеплера. Одна из работ Кеплера по оптике, написанная в 1604 г., называлась «Дополнения к Вителлию» [232]. Основные трактаты по оптике XIII в. — труды Пеккама и Вителло — в течение двух столетий были доступны лишь сотням образованных европейцев. Только с началом книгопечатания с ними смогли ознакомиться университетские преподаватели и студенты.

На 25 лет позже Аквината, Пеккама и Вителло родился немецкий философ, ученый и мистик Дитрих (Теодорик) Фрейбергский, последний из плеяды ученых-монахов XIII в., развивавших оптику. В молодости он вступил в Доминиканский орден, для продолжения образования был послан в Париж, где получил звание магистра теологии. В 1310 г. Дитрих стал викарием Тевтонии. Он придерживался неоплатонической философии, написал несколько работ по оптике, натурфилософии, логике и метафизике. Считается, что вслед за Бэконом он исследовал свойства положительных линз для усиления зрения.

Работы Дитриха не были столь объемными, как трактаты Бэкона и Вителло, но представляли в завершенном виде единство световой метафизики, оптики и математики, которое составляло суть латинской *Перспективы*. Дитрих внес вклад в выяснение природы света. Он утверждал, что свет есть не что иное, как акцидентная (случайная) форма, являющаяся результатом диспозиции прозрачной среды. Вторичность света (возможность его возникновения и цветовой трансформации) по отношению к среде распространения объясняла причину окраски тонких пленок и световых явлений в воде и

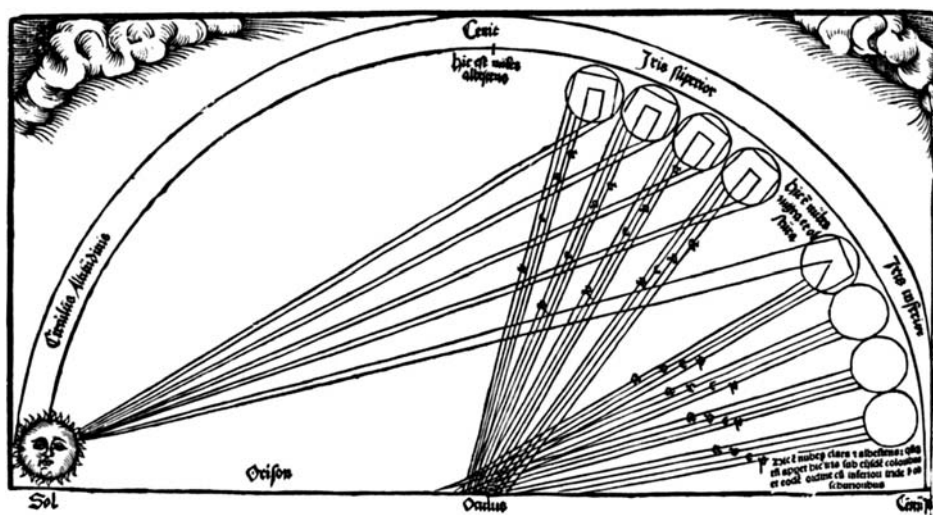


Рис. 7.24
Объяснение явления радуги Дитрихом Фрейбергским

воздухе. Для выяснения истинных причин цветового разнообразия Дитрих (до Декарта и Ньютона) изучал дисперсию света в кристаллах. В трактате «О радуге и действии солнечных лучей» он одним из первых описал и объяснил явление радуги: для формирования первой цветной арки солнечные лучи два раза преломляются и один раз отражаются в капле дождя. К этому выводу он пришел, продолжая анализ, предложенный Гроссетестом и Бэконом, и экспериментируя с наполненными водой стеклянными шарами. Дитрих обнаружил, что цвета основной радуги были результатом двойной рефракции и внутреннего отражения на каждой из многочисленных капель, составляющих поверхность облака (рис. 7.24), а вторичная радуга описывалась им с помощью двух рефракций и двух отражений. Раньше и независимо от Дитриха подобное объяснение выдвинул его современник, член марагинской школы Камаль ад-Дин аль-Фариси [199].

Этим завершается история оптических достижений Средневековья: XIV в. не принес существенных результатов. Однако без описания последовавших событий противостояния церкви и гражданского общества не может быть понят феномен ренессансной *Перспективы* с ее геометризованным антропоцентризмом и тягой к мистике. Кризис конца XIII — начала XIV в. ознаменовался борьбой теологии и физики, появлением антиаристотелевских декретов. Это происходило на фоне войн, эпидемий, недородов, природных катаклизмов, появления инквизиции и начала Реформации.

7.5. ПЕРВЫЕ ЦЕРКОВНЫЕ ЗАПРЕТЫ. ПАРИЖСКИЙ ЭДИКТ

Ранняя христианская философия во многом опиралась на наследие неоплатоников, предшественников монотеистической концепции. По мере распространения в Европе античного наследия и укрепления католической церкви углублялось проникновение в ее теологию и философию идей Аристотеля.

Фома Аквинский питал к Аристотелю глубокое уважение и опасался, что труды философа выпадут из научного оборота. Своим синтезом традиций Античности и Средневековья Аквинат продемонстрировал, что разум и вера дополняют друг друга. Но тучи сгущались. Труды Аристотеля оказались во многом противоречащими теологии. Гроза грянула вскоре после смерти св. Фомы, когда епископ Парижа Этьен Темпье в 1270 г. запретил преподавать ряд аристотелевских тезисов, а в 1277 г. обнародовал список материалов, запрещенных к преподаванию Парижском университете, названный «Большое осуждение». Формально это осуждение действовало на территории Парижа, но последствия его ощущались и за пределами французской столицы, например в Оксфорде. Хотя нельзя не отметить, что папа отнесся к действиям епископа «без энтузиазма» [102].

Этьен Темпье подверг осуждению длинный перечень тезисов в надежде остановить распространение теологических учений, которые были вдохновлены методом Аристотеля. Несколько дней спустя после обнародования «Большого осуждения» архиепископ Кентерберийский Килвордби в свою очередь осудил более краткий перечень — 16 положений, выбранных с теми же намерениями, хотя термин «осуждение» применительно к этому событию не вполне точен. Когда Петр из Конфлана, архиепископ Коринфский, в письме упрекнул Килвордби, тот заметил, что «произведенное осуждение не было того же рода, что осуждения, которым подвергаются явные ереси, но было лишь запретом утверждать подобные вещи в школах, определяя вопросы для дискуссий, или на лекциях, или в какой-либо иной догматической форме». По его мнению, христианская вера, по крайней мере косвенно, подвергалась опасности. Он говорил, что «иные утверждения заведомо ложны, иные отходят от философской истины, иные связаны с нетерпимыми ошибками, а иные явно губительны, ибо противостоят католической вере». К этому Килвордби добавил замечание, поучительное с исторической точки зрения: «В этом запрещении я действовал не один. Оно получило одобрение всех преподавателей Оксфорда; меня к этому обязал совет, объединивший множество теологов и философов, более компетентных, нежели я» [159].

На самом деле первые раскаты осуждающего грома начали раздаваться раньше. В первые годы XIII в. новые переводы Аристотеля с комментариями Авиценны и Аверроэса имели хождение в Париже и Оксфорде. И если в Оксфорде не было препятствий для медленного, но неуклонного роста влияния Аристотеля, то в Париже возникли некоторые сложности: на Совете епископов в 1210 г. был принят декрет, запрещающий преподавать натурфилософию Аристотеля на факультете искусств. Папа Григорий IX подтвердил запрет, заметив, что книги Аристотеля по натурфилософии не могут читаться на факультете искусств до тех пор, пока «не будут исправлены и вычищены все подозрительные ошибки». Григорий указал, что книги по натурфилософии, запрещенные Советом, содержат как полезные, так и бесполезные вещи. Следовательно, «поскольку полезность не загрязняется бесполезностью», созданной комиссии следует устранить все источники ошибок, чтобы, когда сомнительный материал будет удален, эти работы можно было изучать без задержек. Пока исправления вносились, конфликтные ситуации множилось: в 1215 г. оказалась под запретом «Метафизика» Аристотеля.

Однако благодаря усилиям новых комментаторов репутация Аристотеля поднялась на такую высоту, что принятие его философии становилось необратимым. Работы Аристотеля по натурфилософии снова стали предметом лекций на факультете искусств, и одним из первых их начал преподавать Бэкон. В 1255 г. дело пошло еще дальше: факультет искусств получил статус, дающий мандат на чтение работ Аристотеля. «Его натурфилософия больше не ищет скромного места внутри куррикулума искусств, а становится его основной составляющей» [255].

Одновременно с Альбертом и Фомой, старавшимися гармонизировать философию и теологию, некоторые магистры искусств начали преподавать опасные философские доктрины без оглядок на теологические последствия. Наиболее известную роль в этом сыграли Сигер Брабантский и Боэций Дакийский. Они полагали, что нет вопросов, пригодных для рационального исследования, которые философ не мог бы поставить и разрешить. Однако если философия стала достигать выводов, противоречащих вере, она больше не могла рассматриваться как полезная служанка. Ее надо рассматривать как вражескую силу, что требовало решительных действий, которые и последовали в виде двух осуждений — 1270 и 1277 гг. Итогом стало опубликование в третью годовщину смерти Фомы расширенного списка запрещенных тезисов (всего 219), преподавание которых признавалось основанием для отлучения от церкви. Включение в этот список 15 или 20 положений, взятых из учения Фомы, говорит само за себя [199].

Были осуждены некоторые из астрологических положений, в частности о том, что звезды влияют на души так же, как и на тела; что все события повторяются через 36 тысяч лет, когда все небесные тела вновь занимают исходные позиции; что небесные сферы вращаются душами. Набор осужденных позиций был посвящен вещам, которые якобы Бог не мог делать, поскольку аристотелевская философия демонстрировала их невозможность. Философией было доказано, что Бог не мог создать дополнительные вселенные (Аристотель доказывал, что иные вселенные не могут существовать); что Бог не может двигать внешние небеса по прямой, а только по кругу (последнее следовало из недопустимости вакуума); что Бог не мог создавать акцидентные свойства без их носителя-объекта (например, красноту без собственно красного предмета). Все эти положения осуждались перечнем 1277 г., поскольку они ограничивали Божественную свободу и всемогущество. Такая позиция означала, что ни Аристотель, ни другие философы не в состоянии отменять Божественную свободу или силу воздействия. «Бог может все, что не приводит к логическим противоречиям, включая мультипликацию вселенных или качества без вещей» [260].

Осуждения Темпье вызвали отклик во всем христианском мире. Сам римский папа находился в постоянном контакте с парижскими структурами и был осведомлен об опасностях радикального аристотелизма и попытках консерваторов ему противостоять.

Преемником Килвордби на архиепископской кафедре Кентербери стал Иоанн Пеккам. Он воспользовался своей властью для того, чтобы 29 октября 1284 г. возобновить осуждение, вынесенное его предшественником. Комментарии Альберта Великого к сочинениям Аристотеля датируются 1250–1270 гг.,

комментарии св. Фомы Аквинского — 1269–1272 гг., его же «Сумма против язычников» — 1259–1264 гг. Отсюда следует, что новая теология, которую критиковал Пеккам, сложилась менее чем за 20 лет до осуждения.

Высокий церковный статус и негативная по отношению к философии Аристотеля позиция не мешали Пеккаму разрабатывать оптическую проблематику, стать автором «Общей перспективы» и одним из авторитетных оптиков Средневековья. Желание отказаться от крайностей греческой оптики, «исправить Аристотеля», в частности по вопросам о природе света и механизме зрения, подталкивало перспективистов к созданию новой *латинской оптики*. В общее русло атаки на натурфилософию Аристотеля вписывались и отказ от зрительных лучей, бьющих из глаз, и концепция независимого излучения света каждой точкой объекта во все стороны.

В настоящее время получило распространение спорное мнение Дюгема, Кромби и Гранта [157], [172], [198] о положительном аспекте осуждений 1270 и 1277 гг. На их взгляд, этот момент стал началом отсчета истории современной науки. Осуждения заставили ученых выйти за пределы границ, установленных аристотелевскими послылками, и по-новому подойти к представлениям о физическом мире. Средневековые ученые начали отходить от обычая полагаться на древние авторитеты и освободились от оков аристотелизма. Можно назвать ряд справедливо критикуемых утверждений Аристотеля, от глобальных космологических (невозможность вакуума) до локальных зоологических (у мухи четыре лапки). Были и более чувствительные для церкви разногласия. У Аристотеля «причиной небесных движений является разумная душа». Осуждение этой идеи породило новые подходы к решению вопроса об источнике движения небесных тел. Так, Жан Буридан, развивая мысли Гроссетеста, полагал, что в Писании нет указаний на наличие движущих планетами разумных существ [159]. Начался процесс «деанимации» природы, удалось изгнать из царства природы все полубожественные сущности. Чтобы наука могла возникнуть, требовалось лишить природу души [11].

По мнению Дюгема, осуждения подтолкнули схоластов на развитие неаристотелевской физики и космологических альтернатив [172]. Однако, как считает Линдберг, так же очевидно, что осуждения представляли собой консервативную реакцию, направленную против либеральных и радикальных усилий по расширению автономии философии вообще и аристотелевской философии в частности. «Мы должны признать, что осуждения представляли собой победу не для современной науки, но для консервативной теологии XIII в. Они стали громкой декларацией подчиненного положения философии по отношению к теологии» [260].

Противоречие мнений Дюгема и Линдберга в некотором смысле кажущееся. Их позиции лежат в разных плоскостях: усиление в XIII в. идеологического пресса, давившего на натурфилософию со стороны христианской теологии, не помешало, а в некотором смысле и помогло прогрессу во многих областях конкретного знания. В XIII в. над миром прошли бури великих ересей, серьезно больная церковь насторожилась. Церковь и государство, понимая опасность относительно свободного состояния школы, искали средства прибрать ее к рукам. «Беспокойно глядели на школяров-голиардов благона-

меренные люди. Они любили повторять, что школьная молодежь, проходя мир, искала „семи искусств в Париже, гуманитарных наук в Орлеане, права в Болонье, медицины в Солерно и магии в Толедо, но добрых нравов нигде“. Университетская жизнь, свободная и беспорядочно кипевшая на своей заре, начинает со второй половины XIII в. охлаждаться и каменеть. И тогда-то семья голиардов становится сектой, ее громят анафемами, а в 1291 г. Зальцбургский собор впервые употребляет термин *secta vagirum scholarium* — секта бродячих школяров» [24].

7.6. АСТРОЛОГИЯ, АЛХИМИЯ, МАГИЯ

Особенностью рассматриваемого периода была новая волна интереса к герметическим наукам. Возрос интерес к алхимии, магии и астрологии (рис. 7.25, 7.26). Средневековая астрология располагала серьезной научной основой. Ею издавна занимались многие выдающиеся умы. Астрологией увлекался Бэкон, до него гороскопы составляли Пифагор и Птолемей, после него — Кеплер и Ньютон. Для потребностей астрологии мусульманскими мудрецами были разработаны сферические тригонометрические функции.

В течение XIII в. астрологические убеждения укоренились и стали неотъемлемой частью средневекового мировоззрения. Астрология ассоциировалась с медицинской практикой: никакой медик позднего Средневековья не мог и представить, что можно практиковать без астрологии. Хотя практикующих астрологов часто обвиняли в шарлатанстве, даже самые ярые противники астрологии готовы были признавать реальность небесного влияния [18].

Занятие алхимией было не только опасным, но и дорогим. Как отмечала поговорка того времени, «алхимия — это искусство, для которого и король слишком беден». Она превращала богатых князей в должников и делала единомышленниками бродяг и знатных вельмож. Отношение к алхимии часто бывало ироническим. Так, Аурелио Аугурелли в награду за алхимическую поэму получил от папы Льва X пустой кошелек, так как «золото не нужно

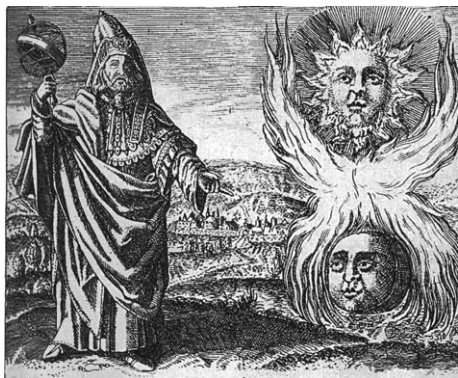


Рис. 7.25
Гермес Трисмегист, основатель алхимии, астрологии и оккультизма с изображением огня, объединяющего противоположности

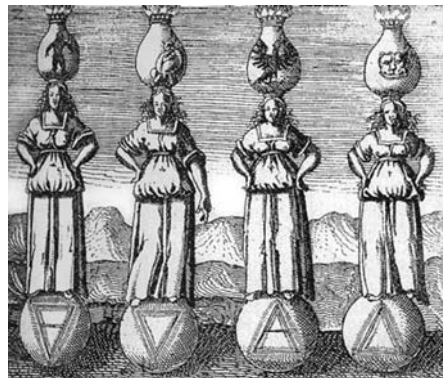


Рис. 7.26
Основные элементы мира по представлению древних: земля, вода, воздух, огонь

тому, кто сам умеет его делать». Хотя усилия исследователей по получению драгоценных материалов не увенчались успехом, они привели к открытию новых технологий получения сплавов, кислот, щелочей, эмали и прозрачного стекла. Стремление добыть золото из ртути открыло способ извлечения благородных металлов из руд — амальгамацию, благодаря которой изменилось качество и возросло количество изготавливаемых зеркал [100].

Есть в этом глубокая историческая ирония: лженаука алхимия породила главные элементы прикладной оптики Средних веков — зеркало и линзу. Неудивительно, что с амвонов церковей и университетских кафедр творением дьявола были объявлены очки — беспрецедентное изобретение средневековых ремесленников. Благодаря изобретению очков во многом были достигнуты успехи просвещения в эпоху Возрождения. Появление очков и эксперименты с камерой-обскурой подготовили базу для создания телескопа и микроскопа, с помощью которых был совершен переворот в науке.



Алхимические опыты оказали влияние и на теоретическое знание, и на практическую сторону жизни. Авиценна и Аверроэс считали, что невозможно извлекать элементы путем сложения элементарных форм непосредственно из первичной материи, необходимо сделать *промежуточный шаг*, который сначала наделил бы первичную материю объемом. Для этого ими было введено понятие *телесных форм*, которые следует *насадить* на первичную материю, чтобы получилось трехмерное тело. Элементы образуются тогда, когда это трехмерное тело получает формы четырех элементов (огня, воздуха, воды и земли). Идея телесных форм перешла и в христианство, поддержанная Гроссетестом, пытавшимся связать телесные формы со светом. Разнообразии цветовых сочетаний соотносилось им и его последователями с композицией телесных форм четырех элементов, отсюда выводилось и эстетическое действие света, прошедшего через окрашенные стекла или отраженного от цветных поверхностей.

Средневековые алхимики задавались вопросами, возможен ли конец процесса деления сложных веществ на части, каковы свойства самых мелких частиц, и даже существует ли что-то, подобное атомам. Пытаясь на них ответить, они открыли много до тех пор неизвестных субстанций. Следуя комментаторам Аристотеля, алхимики разработали концепцию мельчайших частиц, признававшую, что делимость должна быть бесконечной: каким бы малым ни был элемент, нет причины, по которой он мог бы быть неделимым. Тем не менее утверждалось, что существует мельчайшее количество каждой субстанции, ниже которого она прекращает быть самой собой, поскольку уже невозможно поддерживать форму этой субстанции. Вопрос о частице света не ставился.

Другой особенностью этого периода была повсеместная вера в колдовство даже среди образованной части населения. Примером может служить распространённая магия зеркал и хрустальных шаров. Тех, кто пользовался подобной магией, называли *спекуляриями*. Целью магического действия был поиск ответа на вопрос любого рода, часто речь шла об обнаружении вора или местонахождении его добычи. Колдовство было связано и с пророчеством. В эпоху высокого Средневековья существовало более 50 разновидностей предсказаний [37].

7.7. ЧЕРЕЗ БЕДСТВИЯ К РЕФОРМАЦИИ И ВОЗРОЖДЕНИЮ

С начала XIV в. в Европе наблюдалось длительное похолодание, связанное с циклом солнечной активности. В 1315–1322 гг. шли сильные дожди, и как следствие — неурожай в сельской местности и голод в городах. Вспыхивали войны, спровоцированные династическими конфликтами и экономическими противоречиями. Самая затяжная из них — Столетняя война между Англией и Францией, длившаяся как череда военных кампаний, разделенных непродолжительными затишьями. Разорение и бедствия на территориях, ставших театром военных действий, усугублялись мародерством, грабежами, конфискациями. Когда в Европу проник порох, у противников появились мушкеты и пушки, число жертв возросло. Порох и пушки были завезены из Китая в Италию через мусульманский мир. Стали отливаться бомбарды, что продвинуло технологии металлургии. Европейские государства обзавелись постоянными армиями.

Развернулась борьба между Генуей и Венецией, сторонниками папы и приверженцами императора. На протяжении XIV и XV столетий вся Италия была охвачена войнами. В Англии Алая роза стремилась победить Белую. Ганзейский союз воевал с Данией и Англией. Испания была освобождена от арабов, но Палестина навсегда оказалась потеряна для крестоносцев. Борьба с сарацинами шла на побережье Средиземноморья и островах Сицилии, на Мальте, Крите и Кипре. Византия с трудом выдерживала натиск турок. Новая волна завоевателей шла с востока на смену монголам.

Казалось, что Европу охватило безумие и на нее обрушился гнев Божий. Разразилась эпидемия бубонной чумы. Она уже бывала в Европе в VI в. при Юстиниане, но потом страшная болезнь отступила, очаги ее сохранились лишь в Центральной Азии. На этот раз чума пришла из генуэзской колонии Кафы (Феодосии), осажденной монголами: они для острастки защитников крепости перекидывали через стены трупы умерших от чумы. Бацилла была разнесена крысиными блохами и в 1347–1348 гг. попала на Запад в трюмах кораблей через венецианский порт. Чума стала для Европы настоящей катастрофой, полностью исчезнув из нее только в 1720 г. [100].

Демографический спад в связи с чумными эпидемиями был ужасающим: в некоторых странах умирало до 50% населения. В Англии эта цифра достигла 70%, и к 1400 г. ее население сократилось с семи до двух миллионов. Чума периодически возвращалась — почти в каждом десятилетии два-три года были эпидемическими. В зону риска всякий раз попадали новые народы или отдельные слои населения, так, например, в 1360–1362 гг., вспышка чумы более всего не пощадила детей. Медики не находили научно обоснованных причин, поэтому они запрещали собираться для прощания у ложа больного, пользоваться одеждой умерших, рекомендовали горожанам уезжать в деревню (вспомним «Декамерон» Боккаччо). Чума породила даже особое искусство умирания с лозунгом *temento mori*, в обиход вошли изображения черепов и пляшущих скелетов.

Наступила череда безумных лет, когда было не до научных исследований и трансляции знаний. Только преданные делу профессора рисковали входить в университетские здания.

Как всегда, были быстро найдены виновные: с 1320-х гг. по Европе прокатились волны еврейских погромов. Из Англии евреев изгнали в конце XIII в., во Франции этот процесс завершился через сто лет. Из Испании, где преследованиям подвергались и евреи, и мусульмане, еврейские общины (даже принявшие христианство мориски) были изгнаны в 1492 г. Относительная толерантность наблюдалась только в Польше. В Германии и Италии были организованы еврейские гетто.

Преследованиям подверглись также ведьмы и колдуны. Для католической церкви они стали главной мишенью взамен еретиков. Появился и распространил свою деятельность суд Святой конгрегации — в просторечье инквизиция. По Европе запылали костры, применялась процедура аутодафе, были выпущены руководства для инквизиторов, подобные получившему известность «Молоту ведьм» (1486) [37].

Люди не выдерживали тягот войн, эпидемий и религиозных преследований: ширились народные восстания, крестьянские движения, городские бунты — Жакерия, тюшены, восстание Кола ди Риенцо, крестьянская война в Германии. Кризис экономики породил аналог профсоюзов. Активность народных масс возрастала, появилась плеяда харизматических лидеров: Ян Гус, Мартин Лютер, Жан Кальвин.

Нарушилось единство католической церкви. После 1300 г. в Риме происходили конфликты, в 1309 г. началось Авиньонское пленение пап. Одновременно сосуществовали два и даже три папы — единого избрали только в 1417 г. Как реакция на движение протестантов была предпринята последняя попытка соединиться с греческой церковью, объединить католиков и православных. Но поздно: в 1453 г. Константинополь захватили турки.

Брожение затронуло и университетскую среду. Студенты стали движущей силой перемен. Появились ученые-еретики: уиклифиты и гуситы. Первые — из Оксфорда, вторые — из Праги.

Ян Гус стал ректором Пражского университета, после чего участились столкновения чехов с немцами по демаркационной линии *реализм — номинализм*. Немецких студентов и преподавателей изгнали, и они основали Лейпцигский университет [355].

XV в. стал временем повсеместного патриотического подъема. В связи с этим нужно вспомнить имеющую отношение к науке и образованию историю возникновения понятия «нация». Оно рождалось не в пылу восстаний или на полях военных сражений — к нему обращались в университетах и на церковных соборах. В научных центрах Европы возникли землячества учащихся и объединения преподавателей. Впервые студентов поделили на цисмонтанов и ультрамонтанов в Болонском университете, а в Парижском на подготовительном факультете появились первые четыре *нации* — Нормандия, Пикардия, Франция и Англо-Германия. Примерно то же происходило в Пражском университете. На Констанцском соборе католической церкви использовалось разделение голосующих епископов на нации не по формальным границам государств и владений, а по территориальной принадлежности епархий.

Во Флоренции, этом «прекраснейшем цветке Европы», начиналось Возрождение. Лоренцо Гиберти выиграл конкурс на создание ворот Баптистерия;

Брунеллески создал знаменитый купол собора Санта-Мария-дель-Фьоре. Под водительством семейства Медичи процветали искусства и ремесла. Козимо Медичи (1389–1464), глава Флорентийской республики, собирал античные статуи, камни, монеты и медали, основывал публичные библиотеки. Его личное собрание книг насчитывало более 400 томов. Он покупал и заказывал книги переписчикам, поддерживал Марсилио Фичино, основавшего в Кареджи Платоновскую академию, и Кристофоро Ландино, благодаря которому гуманисты начали вместо латыни употреблять народные языки.

Католическая церковь не приняла либеральный подход Фомы Аквината к проблеме разума и веры. Философия и наука восстали против роли служанок, и в XV в. наступил перелом — началось открытое противостояние науки и религии. Близилась эпоха гуманизма, эпоха Возрождения. В лице Августина, Кассиодора и Исидора христианство мыслило постижение семи свободных искусств как первую ступень на пути к изучению теологии, на пути души к Богу. Первым мыслителем, который, изучив семь свободных искусств, осмысленно произнес: «Этого достаточно!», был Данте. С этого началась история Возрождения.

Что же такое Возрождение? Если только расцвет искусства и философии, то в Италии искусство менялось еще в XIII в., а гуманизм зарождался в средневековых университетах. Решающий перелом произошел в XVI в., с разделением западного христианства на католицизм и протестантизм. Но начинался этот путь в Средние века: «Разделение церкви и государства, кесарю кесарево, клир и миряне, вера и разум — это было скрыто и проявилось в годы Реформации. В материальной сфере, в области интеллектуальной и духовной Средневековье явилось периодом творчества, изобретений и прогресса, что только усилилось в XV веке» [253].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя достижения оптического знания в Средневековье, следует выделить три этапа его развития: христианско-теологический, арабо-мусульманский и латинско-схоластический.

В раннем Средневековье внимание ученых было направлено на исследование света, цвета и видения, на овладение знанием древних греков, в частности софистикой Евклида, Аристотеля, Птолемея и других авторов. Их понимание оптических явлений ограничивалось фрагментарными утверждениями в трактатах, посвященных другим темам. Оптику этого периода можно назвать метафизической, поскольку представления о свете фигурировали больше в теологических дискуссиях благодаря своему месту в акте Творения, библейским световым метафорам и связи между теологией и метафизикой. Исчез греческий термин *оптика* как обозначение языческой науки о природе света и механизме зрения. В апологетике и патристике имеются сравнения света Божественного интеллигибельного и чувственного физического, а также гносеологические параллели между внешним зрением и внутренним «прозреванием истины». Важнейшей тенденцией этого периода был процесс сохранения и передачи античных знаний. Мыслители Византийской империи сыграли большую роль в этой интеллектуальной эстафете, впоследствии затронувшей все раннехристианские государства Европы. Была сохранена, хотя и не без потерь, римская образовательная система.

Существенный вклад в оптику внесли мусульманские ученые. Особые достижения связаны с именем Альхазена. Он внес в оптику решающие изменения, дал законченные формулировки ряда ее законов и сделал много оптических открытий [373]. Опираясь на работы предшественника аль-Кинди, Альхазен вписал визуальный конус экстремиссионных лучей в интрамиссионную модель, совместив их достоинства и объединив математический и физический подходы к зрению. На базе анатомических и физиологических идей Галена он создал теорию зрения, отвечавшую всем трем критериям.

Главное достижение исламской оптики заключалось в объединении разобщенных и несовместимых греческих оптических традиций в одну ясную, стройную теорию. Трактаты Альхазена были дополнены работами Ибн Зала по преломлению световых лучей, где можно усмотреть намек на правильный закон рефракции, открытие которого история приписывает Декарту и Снеллиусу (XVII в.).

Плеяда арабских ученых марагинской школы — ат-Туси, аш-Ширази и аль-Фариси — применила идеи Альхазена к проблемам атмосферной оптики, в частности к объяснению явления радуги.

Период расцвета наук в исламском мире ознаменовался не только оригинальными теоретическими исследованиями, но и достижениями прикладного характера. На абсолютно новый уровень было поднято понимание сути научного знания. Целый ряд трактатов был написан о системах классификации наук, о единстве и разделении математических, физических и теологических дисциплин. Огромное внимание уделялось созданию новых технических приспособлений и настоящих научных инструментов.

Следует упомянуть изобретение главного визирного приспособления — астролябии. С этого времени становятся употребительными и *читальные камни*, или *сегменты Альхазена*, — по сути, первые кристаллические лупы.

Арабо-мусульманский этап можно считать прорывом в создании оптической теории, временем становления физической оптики и поворотным моментом в прикладной оптике. Трактат Альхазена «Сокровище оптики» стал одним из основных учебников в средневековых университетах.

После знакомства с трудами арабов христианские мыслители начали изучать оптическое наследие Евклида, Архимеда и Птолемея, стремясь совместить геометрические рассуждения греков и арабов с собственными изысканиями, базирующимися на Священном Писании. Эта работа, начавшаяся в стенах монастырей, уже в позднем европейском Средневековье перемещается в новые уникальные корпорации преподавателей и студентов — университеты. Развитие схоластической методологии в этот период следует рассматривать как положительное явление с точки зрения передачи и трансформации научного знания. Вообще, две основы латинской традиции — готика и схоластика — наложили весьма яркий отпечаток на зарождающуюся науку *Перспективу*, которая по сути была преобразившейся и встроенной в средневековые концепции все той же оптикой. В ней были объединены математические, физические, метафизические и физиологические положения. Истинными ее творцами считаются Роберт Гроссетест и Роджер Бэкон, иницировавшие работы целого ряда перспективистов: Вителло, Иоанна Пеккама и Дитриха Фрейбергского. Вклад каждого из них ценен и оригинален.

Гроссетест, создав учение о световой иерархии и радиальных эманациях от светящихся тел, христианизировал теорию Альхазена. Бэкон показал важность опыта и исследований для постижения истины. Вителло взял на себя титанический труд адаптации «Сокровища оптики» к реалиям латинского университетского образования. Пеккам продолжил эти усилия, приведя в «Общей перспективе» выжимку из предшествующих оптических компендиумов. Наконец, Дитрих завершил структурное формирование *Перспективы* и дополнил ее рассуждениями об увеличительных стеклах и природе радуги. Усилиями этих ученых союз световой метафизики, оптики и математики, который составлял суть латинской *Перспективы*, встал в один ряд с классическими науками квадривиума.

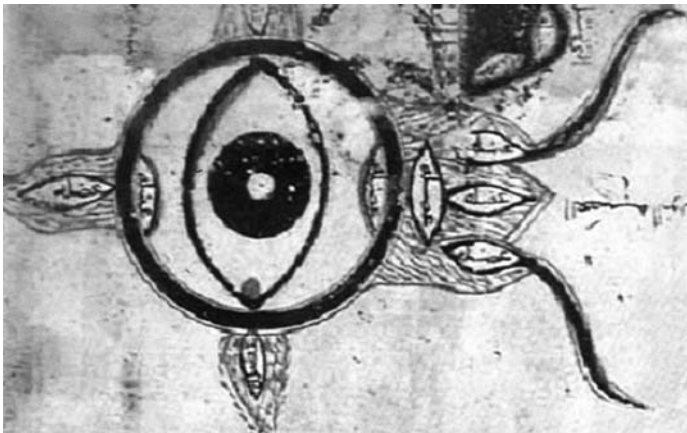
Совершившееся параллельно с разработкой цельной и стройной оптической теории второе великое оптическое достижение высокого Средневековья — изобретение очков — делает этот период одним из ключевых моментов в истории оптики и науки в целом. Образ книжника в очках — священника, алхимика или астролога — стал символом не только позднего Средневековья, но и последующих веков европейского Возрождения.

ЧАСТЬ 2

СТАНОВЛЕНИЕ АРАБСКОЙ ОПТИКИ (АЛЬ-МАНАЗИР)

Избавься от своей мудрости,
если она не решает твоих проблем.

Восточная мудрость



Концепция анатомии глаза по Хунайну ибн Исаку.
Копия его книги «Десять трактатов о строении глаза»,
XIII в.

(Национальная библиотека Каира)

ВВЕДЕНИЕ

В исламских науках не было физики в ее современном понимании. Была натурфилософия, включавшая, помимо физики, науки о земле и жизни. Оптика (*аль-Маназир*), сегодня составляющая самостоятельный раздел физики, включалась арабами в раздел математики. Астрономы обращались к геометрической оптике, опираясь на учение Аристотеля о том, что видение есть главный инструмент для познания внешнего мира и главное из чувств. Свет и зрение занимали центральное место в античной письменной традиции, которая была воспринята и скорректирована учеными, овладевшими новыми астрономическими навыками.

Арабская оптика с самого начала была ориентирована на изучение физиологии глаза и зрения. Арабская медицина уже в VIII в. была развита лучше других наук: лечились заболевания глаз, в том числе хирургическими методами, что способствовало изучению структуры и функций глаза. В IX в. были опубликованы труды по прикладной оптике, касающиеся как общих, так и частных вопросов, например зажигательных зеркал.

Вклад мусульманских мыслителей в оптику неоспорим. Огромная заслуга в этом принадлежит Альхазену, который в трактате об оптике и других трудах рассмотрел широкий круг вопросов — от зрения и структуры глаза до анализа зажигательной сферы. Главный его трактат «Китаб аль-Маназир» («Книга оптики») впервые был переведен на латынь в конце XII в. Первое печатное издание этого труда вышло в 1572 г. под названием «*Opticae Thesaurus*» («Сокровище оптики»).

Ниже будут рассмотрены основные этапы развития арабской оптики — от ее зарождения до замечательных достижений Альхазена, получившего титул «Отец оптики».

АРАБЫ И АНТИЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

Когда караван поворачивает назад,
впереди оказывается хромым верблюд.

Восточная мудрость

Арабские ученые Средневековья сохраняли и развивали оптическое знание более, чем любое другое культурное наследие того времени. Оно было извлечено ими из античных источников. Чтобы понять их достижения в оптике, надо начать с изучения ее греческих истоков.

На протяжении всей греко-римской Античности много внимания уделялось зрению. Сформировалось несколько теорий визуального восприятия, появились первые модели глаза. Оптика зародилась на рубеже V–IV вв. до н. э. в трудах пифагорейцев как часть линейной геометрии. Разделы геометрической оптики Античности — *прямое видение, катоптрика, диоптрика* — оперировали понятиями зрительных лучей и углов. Вопросы локализации отраженных и преломленных образов разрешались в представлении о прямых лучах, исходящих из глаз.

Благодаря плеяде античных мыслителей, тема света и цвета перешла из мифологической и сакральной областей в разряд философских и научных рассуждений. Однако осмысление природы света не шло дальше констатации его огненной основы и классификации световых явлений. Вершиной античных учений была идея Аристотеля о свете как *акциденции* — изменчивом, нематериальном свойстве, вызывающем прозрачность некоторых сред, чтобы через них могли распространяться зрительные лучи. Были высказаны догадки о структуре света, мировом эфире, минимальных длинах отраженных лучей. Достижением стала систематизация знаний об оптических явлениях природы и механизмах зрения, что позволило оптике утвердиться как самостоятельной науке.

8.1. «ТАКТИЛЬНЫЕ» ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРИИ

Греческие гипотезы о видении оказались под влиянием концепции прикосновения, по которой чувственное познание осуществлялось физическим контактом предмета и наблюдателя. Тактильное восприятие сводилось к механическому контакту с поверхностями, дающему ощущения их влаж-

ности, твердости или мягкости. Если контакт между предметом и кожей был установлен, значит, чувственное восприятие было полным и непосредственным [314].

Контакт глаза наблюдателя и предмета не был определен. Для греков проблема заключалась в объяснении того, как глаз устанавливает контакт с предметом на расстоянии в отсутствие видимой физической связи. Считалось, что видение совершается через промежуточную среду [76]. Зрительные теории были попытками объяснить контакт по аналогии с ощущением от прикосновения. Логика предполагала посредничество следующих составляющих: отпечатка, проецируемого от предмета к глазу; невидимой способности зрения или луча, проецируемого от глаза к объекту; активированной внешним светом прозрачной среды. Как и в случае осязания, видимое восприятие объяснялось как результат той или иной формы контакта. Вот основные варианты этих объяснений.

Теория копии предмета: всепроникающие эйдолы. Согласно теории атомистов, в частности Эпикура, предметы рассеивают свои отпечатки во всех направлениях. Они распространяются в воздухе по прямой линии связанными соединениями атомов, сохраняя направление, форму и цвет объекта, из которого исходили. Эти тоненькие пленки (*эйдолы*) проникают в глаз наблюдателя. Визуальное ощущение является следствием непрямого контакта с эйдолами, передающими видимые свойства объекта.

Теория эмиссии: зрительные лучи как трость слепого. Эта версия, альтернативная теории копии предмета, утверждала, что глаз испускает невидимые лучи, контактирующие с предметом и вызывающие визуальное ощущение. Предполагалось, что исходящие из глаза лучи проходят в пространстве по прямым линиям, а излучение имеет форму конуса видения, простираясь до бесконечности (рис. 8.1). Вершина конуса находится в глазу, и по мере удаления предмета поверхность его основания увеличивается. Видение происходит, когда лучи встречаются предмет внутри границ конуса. Аналогией к теории являлся слепой, использующий трость, чтобы ощутить предметы, расположенные не под рукой [315]. Образ слепого, протягивающего пучок направленных вперед тростей подобно спицам зонтика, был бы более точной метафорой. Геометрия Евклида укрепила данную концепцию. Во II в.



Рис. 8.1
Зрительные лучи по Евклиду

она была усилена оптикой Птолемея, в которой конус Евклида, состоящий из геометрических линий, приобрел физическую реальность в виде непрерывного пучка излучений. Рассматривая угол зрения в вершине конуса, можно было объяснить восприятие размера в зависимости от удаленности предметов и избежать дилеммы атомистов, столкнувшихся с проблемой видения горы. Если представить себе, что форма предмета большого размера уменьшается до степени, достаточной для того, чтобы пройти сквозь небольшое отверстие глаза, то как тогда она может сохранять информацию о своей перво-



Рис. 8.2
Зрительные лучи, истекающие из глаз

начальной величине? Малый угол зрения указывал на важность расстояния между горой и наблюдателем.

Поскольку полагалось, что лучи-щупальца проходят расстояние от глаза до видимого объекта по прямой линии (рис. 8.2), то, так же как в случае полета стрелы, их распространение описывалось по законам отклонения из разделов механики и катоптрики. Считалось, что оптические (зрительные, визуальные) лучи отражаются от гладких поверхностей так, как стрела отклоняется бронзовым щитом. Это объясняло, каким образом предметы могут быть видимы при отражении зеркалами. Принципом являлось равенство углов падения и отражения (отскока). Когда мы смотрим в зеркало, расположенное под острым углом относительно направления взгляда, мы видим предметы, находящиеся сбоку от нас. Если держать зеркало под прямым углом, то мы увидим себя. В основе этой трактовки лежало само понятие тактильного визуального луча в зеркале.

Несмотря на возможность трактовать вопросы отражения, размеры или расстояние, теория была ограничена. Поскольку оптические лучи должны были неизбежно ослабевать с расстоянием, каким образом могли они охватывать все небо целиком и достигать звезд? Этот вопрос оставался одной из главных проблем.

Вариации на тему оптических лучей: Платон и стойки. В теории Платона исходящее из глаз излучение, понимаемое как *внутреннее, визуальное пламя*, связывалось с внешним светом окружающей среды для формирования посредника между глазом и видимым предметом. Видение согласно этой теории происходит, когда слияние визуального пламени и солнечного света — простое однородное вещество — вступает в контакт с эманацией (излучением) предмета. Тростью слепого в теории Платона является слияние визуального и солнечного света. Визуальный контакт происходит не между тростью и предметом, а между тростью и эманацией, происходящей из предмета, которая представляет собой не эйдолы, а цвет.

Позиция Платона объясняла тот факт, что видение может происходить только в присутствии света, вопреки тактильной природе контакта между глазом и предметом. Она также могла объяснять восприятие удаленных предметов без обращения к понятию лучей, растяжимых до бесконечности. Стойки связывали основу тактильной теории с понятием *пневмы*. Задуманная как соединение воздуха и огня, пневма затем ассоциировалась с жидко-

стями тела. В присутствии света пневма раздражает воздушный столб, расположенный между глазом и предметом, заставляет его напрягаться, как пруттик. Считалось, что неосвещенный воздух неплотен для того, чтобы стать напряженным под воздействием пневмы и реагировать на давление. Натянутый пневмой воздух образует конус, вершина которого находится в глазу. Видимые объекты, находящиеся в поле основания конуса, воспринимаются и передаются глазу при помощи *стержня сжатого воздуха* способом, похожим на то, как слепой использует трость, чтобы почувствовать предметы, находящиеся не под рукой. Стоики сравнивали видение посредством прикосновения с ударом тока от электрического угря.

Во всех этих теориях присутствие света позволяет установить связь или тактильный контакт между глазом и предметом. Без света визуальная сила не сможет растянуть воздух. В темноте контакт невозможен потому, что воздух перестает служить тактильной тростью, позволяющей коснуться предмета. Если продолжить аналогию, то трость слепого лишается твердости.

Исходя из существования однородности между тем, что достигало глаза, и его источником во внешнем мире, теории задавались вопросом о способе, посредством которого глаз и сознание могут получать качественную модель видимой реальности. Вне зависимости от того, воспринимается ли она посредством эйдол или за счет зрительных возможностей глаза, копия предмета приравнивается к способу контакта. Другими словами, обе теории характеризуются *тактильным* подходом, который объяснял видение в понятиях механического взаимодействия.

8.2. АКЦИДЕНЦИИ АРИСТОТЕЛЯ И СИНТЕЗ ГАЛЕНА

Ряд античных теорий зрения постепенно отходит от теорий осязания. У Аристотеля (IV в. до н. э.) глаз не вступает в контакт с видимыми предметами путем посылки тактильного луча или пневмы. Он не получает копий предметов в виде эйдол. Как любое ощущение, зрительное восприятие представляет собой пассивный процесс. Глаз получает информацию о форме предмета без наполняющей его материи, подобно тому как воск оставляет на себе отпечаток формы печати, не сохраняя металла.

Аристотель определяет в описании чувств условия, необходимые для визуального опыта. Основным свойством видимого объекта является цвет — категория, в которую он включает интенсивность освещения, позволяющего воспринимать видимые качества предмета. Он ставит условием, предваряющим передачу свойств предмета глазу, прозрачность. Для зрительного восприятия предмет, обладающий цветом, должен быть отделен от глаз прозрачной средой, и то, что обуславливает прозрачность этой среды, является светом. Свет не является материальной субстанцией или движением. Он является акцидентным состоянием прозрачности среды (воздуха), через которую цвета могут восприниматься на расстоянии. В силу своей прозрачности глаза могут запечатлевать цвета. Так, зеленый предмет «окрашивает» глаз в зеленый цвет. Никакого объяснения не дается ни этому процессу, ни тому, что происходит внутри глаза.

По Аристотелю, видение, как и другие чувства, является процессом, который происходит, когда орган чувств приводится в движение *собственно*

ощутимым воздействием, оказываемым предметами: «Восприятие заключается в приведении в движение и в бездействии. Через чувство, испытанное органом, происходит восприятие. Я называю собственно *ощутимым* то, что не может быть воспринято другим чувством и что не оставляет никакой возможности для ошибки: такими являются цвет для зрения, звук для слуха, вкусовое ощущение для вкуса» [252].

В греческих источниках внешняя радиация представлялась глобальным процессом, в котором видимые объекты излучают как единое целое. Лучи не испускаются различными точками. Поэтому каждый объект как цельное множество точек должен быть способным посылать свой сцепленный образ через окружающую среду в глаз наблюдателя. Для атомистов это напоминало маску, отрываемую от внешних слоев объекта. Маски-пленки двигаются через пространство как единое целое, уменьшаясь, усыхая по мере продвижения так, чтобы проникнуть в глаз. Для Аристотеля это было качественными изменениями среды, порождающими поле зрения и синхронно попадающими в глаз. Не было никаких возможностей использовать исходящие от предметов конусы лучей в качестве концепции такого излучения.

Аристотель поверхностно коснулся геометрии света и зрения, обратив все внимание на физическую природу света и механизм контакта в визуальном восприятии между видимыми объектами и видящим глазом. Ни математический анализ, ни анатомические или физиологические особенности не занимали серьезного места в его теории. Он утверждал, что видимый объект является изменением прозрачной среды; среда мгновенно передает это изменение глазу, с которым находится в контакте, чтобы создать ощущение. В этом заключается *интрамиссионная теория*, названная так потому, что агент (посредник, носитель), отвечающий за зрение, переходит от видимого объекта в глаз. Атомисты выделяли в качестве агента не деформацию прозрачной среды, а тонкую «кожицу» атомов, снятую с внешней поверхности объекта, при этом они соглашались, что причиной должна быть интрамиссия.

В трудах римского врача Галена (II в. н. э.) доминирует медицинский подход к видению. Его эклектичная теория настаивала на введении анатомии глаза в разработанную геометрию конуса угла зрения. Теория стоиков, согласно которой пневма является основным средством видения, идеально соответствовала представлениям Галена о строении глаза [12]. Беря начало в желудочках головного мозга, пневма путешествует неизменным потоком к глазам через полые зрительные нервы. В глазах пневма наполняет хрусталик, который Гален рассматривал как основной орган зрения. Он укрепился в этой идее благодаря знаниям о катаракте, которая, как он думал, возникает между хрусталиком и роговицей, затмевая зрение. Поскольку удаление катаракты восстанавливало зрение, считалось, что она блокирует прохождение пневмы через зрачок.

Для теории Галена не было необходимости в том, чтобы пневма проецировалась далеко вперед из глаза, так как при непосредственном контакте с ней воздух мгновенно изменяется (в присутствии света) и становится прямым сенсорным продолжением органа зрения. Сжатый воздух оказывается не тростью слепого, а самой рукой. С геометрической позиции формируется конус чувствительности, состоящий из визуальных линий, простирающихся

от вершины конуса, расположенной в зрачке, до находящихся на расстоянии видимых предметов. Восприятие происходит тогда, когда основание конуса встречает видимый объект. Отпечатки возвращаются в жидкость глаза и перемещаются через сетчатку и полые зрительные нервы в мозг — последний центр ощущения и восприятия.

Несмотря на различия, греческие теории зрительного восприятия основывались на одних и тех же гипотезах. Чувственное знание рассматривалось как достоверная регистрация реальности. То, что сообщается глазу и тем самым сознанию, представляет качественную копию внешнего мира. Данная концепция была подтверждена опытным путем со ссылкой на возникновение собственного лица одного человека в зрачке другого, как в зеркале. Объекты зрительного ощущения воспринимаются целиком либо при помощи материальной копии (эйдолы), либо посредством ощущаемого впечатления, называемого также представлением или формой чувственного предмета.

В итоге арабы получили от Аристотеля, его комментаторов и авторов, следовавших медицинской традиции, разнообразные методологические подходы [328]. Они создавали впечатление, что эти вопросы могут разрешаться без математики. Исследования глаза и способов испускания зрительных лучей в рамках медицинской традиции содержали минимум математического анализа анатомических и физиологических рассуждений. Аристотель выразил мнение о том, что физика и математика суть автономные ветви теоретического знания, каждая со своим предметом изучения и соответствующими принципами описания. Математика не должна вторгаться в физику, где достаточно изучать чувства и ощущения. В работах «О животных» и «О чувственном восприятии» он дал примеры того, как вести анализ оптических явлений с физической, а не с математической позиции.

8.3. ОСОБЕННОСТИ И ХРОНОЛОГИЯ АНТИЧНОЙ ОПТИКИ

Античные зрительные гипотезы с математическими подходами (Евклид и Птолемей) строились по *экстрамиссионному принципу* испускания света из глаз, тогда как теории с физическим уклоном (Аристотель, атомисты) рассматривали механизмы проникновения лучей извне внутрь глаза (интрамиссия). Экстрамиссия лучей была обязательным элементом зрительных теорий, поскольку это были конические истечения лучей из глаз, что позволяло осуществлять математический анализ механизма зрения. Если есть сомнения относительно однозначности этой связи, то можно обратиться к текстам Аристотеля. Когда он касается математического анализа оптических явлений, например радуги, то оперирует экстрамиссионными представлениями [252].

Помимо гипотез об эйдолах и зрительных лучах, для развития оптического знания важны следующие достижения Античности.

Концепция *синаугогии*, описывающая зрение как комбинацию лучей внутреннего огня, бьющих из глаз, и внешнего дневного света. Встречаясь, они создают единое зрительное тело, которое соприкасается с наблюдаемым предметом и передает зрительному центру упругое давление. В рамках этой концепции стоики развивали гипотезу *синестази́са*, согласно которой глазные истечения (пневма) упруго взаимодействуют со светлым воздухом, вызывая его натяжение от глаза к предмету.

Теория *акциденции*, основанная на представлении, что внешним оболочкам глаза мгновенно передаются ощущения, возникающие при движениях всепроникающей светоносной среды — *пеллуцида*. Его потенциальная прозрачность активируется внешним светом, а зрительные образы возникают благодаря цветовым различиям предметов. Эту теорию разделяли Аристотель и школа перипатетиков.

Геометрическая модель *зрительных конусов*. До XVII в. в оптических схемах, помимо предмета и точки изображения, фигурировала «точка зрения», т. е. позиция глаза наблюдателя. Это приводило к особым построениям в катоптрике и диоптрике, и задачи геометрической оптики решались шиворот-навыворот: не строили ход луча после отражения или преломления, а искали точки на зеркале или прозрачной поверхности, попадая в которые луч достигает фиксированного глаза наблюдателя.

Концепция *психологии зрения*, постулирующая пневматическую связь глаза и мозга. В ней излагалось преобразование чувственного восприятия в рассудочное и классифицировались зрительные иллюзии. Бинокулярность зрения и механизм совмещения зрительных осей были объяснены при помощи расположенной в хиазме «управляющей способности».

Ряд законов, постулатов и теорем, составивших фундамент геометрической оптики: закон отражения, принцип минимальной длины зрительных лучей, теоремы о форме и локализации мнимых изображений, о действии зеркальных систем, о точке фокуса параболы. Отталкиваясь от представлений об исходящих из глаза зрительных лучах, античные мыслители затронули проблему скорости их распространения.

На каждом этапе развития античных наук обнаруживается прогресс в формировании единой системы оптического знания. Периоды ее взлетов и падений отражают общие тенденции античной философии [76].

VI в. до н. э.: закладываются основы античной геометрии, появляются первые представления о зрительных лучах. Теоремы Фалеса о равенствах или подобии треугольников формализуют угломерные процедуры, в том числе для задач небесного и земного визирования. Для зрительных лучей сформулирован *закон отражения*. Обобщаются архаичные представления об огненной природе света. Свет и зрение рассматриваются независимо.

V в. до н. э.: с позиций экстрамиссии и интрамиссии обсуждается механизм зрения, закладываются теоретические основы античной оптики. Доминирующей можно считать теорию зрительных истечений Эмпедокла. Появляется первая физиологическая модель глаза. Геометрия зрительных лучей развита настолько, что зарождается новый прикладной раздел оптики — *скенография*. Представления о природе света детализируются, рассматриваются различные ипостаси огненной стихии.

Рубеж V–IV вв. до н. э. считается началом античной оптики как науки. В трудах Архита учение о зрительных лучах выделяется в самостоятельную дисциплину.

Хотя акустика и оптика названы «науками-сестрами», это мнение не разделяют многие философы, например Платон.

IV в. до н. э.: оптика занимает место в аристотелевской структуре античного знания. Ее позиция — между математическими и физическими науками.

Аристотель рассматривает свет как условие прозрачности сред для зрительных лучей. Его ученик Теофраст анализирует теории зрительного восприятия. Свет и цвет рассматриваются совместно для объяснения эффектов цветопередачи. Геометрическую основу обретает раздел об оптических явлениях в атмосфере — *метеоры*. Солнечные затмения наблюдают с помощью камеры-обскуры.

На рубеже IV–III вв. до н. э. Евклид создает капитальный труд «Оптика», дошедший до нас в неполном и искаженном двойном переводе. Трактат всесторонне освещает оптические задачи. В нем анализируются механизм зрения и строение глаза, законы прямого видения и иллюзии; излагаются свойства плоских, выпуклых и вогнутых зеркал в разделе *катоптрики*; дается исследование преломления в рамках *диоптрики* — учения о видении через прозрачные среды. Трактат использует модель исходящих из глаз прямолинейных зрительных лучей, понимаемых как физические реальности.

Стоики и эпикурейцы предлагают собственные теории видения.

III в. до н. э.: в трудах Архимеда, впоследствии утраченных, излагаются законы зеркальных отражений и формирования изображений в вогнутых зеркалах. Отголосками этого знания являются легенда о сожжении с помощью зеркал римского флота в Сиракузах и реальный факт — написание Диоклом математической работы «О зажигательных зеркалах». Развивается древнее искусство использования гномонов, основанное на обратном визировании и рассматриваемое как часть оптической науки.

II–I в. до н. э.: элементы оптического знания проникают в среду писателей, драматургов, художников, архитекторов и военных. К оптическим достижениям относят совершенствование безлинзовых астрономических и геодезических визирных инструментов, появление светового телеграфа, разработку методологии *зрительных корректировок* в скульптуре и архитектуре. В трудах «О природе вещей» Лукреция и «Десять книг об архитектуре» Витрувия обсуждаются прикладные вопросы оптики: зрительные иллюзии и пути их исправления, способы искусственного освещения и зеркальные эффекты.

Первая половина I в. н. э.: повышение интереса к научным исследованиям в оптике. Римской медициной получены новые данные о физиологии глаза. За счет совершенствования методов полировки бронзы, обработки кристаллов и появления прозрачного александрийского стекла систематизируются наблюдения по катоптрике и диоптрике. Появляются трактаты Герона о модели упругого отражения и неупругого преломления зрительных лучей и сформулирован принцип их минимальной длины.

Вторая половина II в.: взлет античной научной мысли. Итогом накопленных греками и римлянами оптических знаний становится «Оптика» Клавдия Птолемея, дошедшая до нас без последней части. В трактате дана классификация прямого, отраженного и преломленного видения и сделана попытка объяснить бинокулярность зрения в представлении о зрительных лучах, которые теряют свою материальную природу и становятся математическими абстракциями. Для плоских и выпуклых зеркал предложен метод нахождения отраженных образов на пересечении луча зрения и катета отражения [245], [246]. Теоремы катоптрики распространены на вогнутые зеркала. Способ

нахождения точек пересечения лучей и катетов приводит к парадоксальным выводам о формировании в таких зеркалах *действительных* изображений. Птолемей проводит опередившие свое время опыты по преломлению света.

Стимулом для изучения диоптрики стали поправки на атмосферную рефракцию при астрономических наблюдениях. Эксперименты Птолемея по рефракции являются первым примером инструментального определения характеристик оптических сред. Хотя «Оптика» Птолемея не имела такого влияния на развитие наук, как его геоцентрическая система, она сыграла свою роль. Птолемей поставил учение о свете и зрении на математический фундамент, введя в него результаты экспериментов. Через арабских и латинских переводчиков и комментаторов его трактаты попали в университеты Европы. Птолемея система мира изучалась вплоть до революции Коперника, а точность его оптических опытов по преломлению превзошли лишь Декарт и Снеллиус.

Античная оптика была *оптикой зрения*: зрительные углы, определяющие визуальные впечатления, опирались на глаз как на вершину образуемого ими конуса. Объяснение зрительной способности базировалось на взаимодействии зрительных лучей с контурами объекта и границами зрачка. Важным достижением античной оптики *прямого видения* стало понимание того, что картина внешнего мира проецируется зрительными лучами не на плоскость, а на криволинейную поверхность. Хотя греческие мыслители считали, что это была не вогнутая поверхность сетчатки, а выпуклая поверхность роговицы или хрусталика, они уловили источник нелинейных оптических искажений и предложили пути их компенсации скенографической коррекцией в архитектуре, скульптуре и живописи.

Начала *прикладной оптики* лежат в создании первых приборов для визуальных наблюдений и измерений. Визирные инструменты для астрономии или земных применений создавались в Античности с учетом особенностей механизма зрения. Развивая технику прямого визирования, греки и римляне соединили в единые устройства трубки-диоптры, кольцевые конструкции и градуированные шкалы. Появившиеся армиллярные сферы, параллактические линейки и астролябии были прообразами оптических устройств для пространственной ориентации в астрономии, геодезии и мореплавании эпохи Средневековья.

Античность характеризуется становлением оптики как отдельной науки со своей логикой развития, математическим аппаратом и элементами структуры. Частичное несовпадение границ и содержательного наполнения античной оптики по сравнению с мусульманской не может быть основанием для отрицания их связи. Античная и арабская школы были представлены физическими и метафизическими теориями о свете и зрении, физиологическими моделями глаза, теоремами об особенностях отражений и преломлений, зрелыми экспериментальными исследованиями.

Античную оптику отличал широкий спектр практических приложений — от скенографии и архитектурных зрительных корректировок до создания неплоских зеркал и линзоподобных элементов. Был усовершенствован ряд наблюдательных устройств и созданы первые оптические инструменты. Эти достижения получили развитие в арабской прикладной оптике.

8.4. ТРИ ОПТИЧЕСКИЕ ТРАДИЦИИ: СВЯЗЬ ВРЕМЕН

Развитие оптического знания в арабском мире и средневековой Европе протекало в русле трех традиций, на которые условно можно разделить античную оптику [260].

Первая традиция восходит к Аристотелю и его последователям, которые пытались разобраться в физических процессах, составляющих механизм зрения. Эти процессы Аристотель связывал с возмущениями, распространяющимися через прозрачные среды от видимых предметов к глазу наблюдателя. Он фокусировал свое внимание на прозрачной среде между предметом и глазом, посредством которой передаются некие видимые формы, вызывающие в зрительном аппарате визуальные ощущения.

Идеи Аристотеля с течением времени образовали ядро аргументов против тактильного подхода к зрительному восприятию. Хотя понятие излучения из глаза само по себе подвергалось сомнению, основанные на нем решения проблем отражения и восприятия расстояния, размера и положения не критиковались. Существовали толкователи Аристотеля с эклектическими воззрениями, которые использовали геометрические принципы и механику луча зрения для защиты и пересмотра своих гипотез.

Популярный у арабов комментатор Аристотеля Александр Афродизийский в III в. утверждал, что ничто не излучается глазом в направлении предмета. Однако когда он рассматривал передачу видимых качеств (цветов) через прозрачную среду, то использовал визуальный конус и принцип прямолинейного распространения, пришедший из теорий тактильного восприятия. Таким образом предметы, по его мнению, воспринимаются через конус вдоль прямых линий. Хотя их размеры определяются углом зрения, отсчитываемого от глаза, сам конус определен в своем основании предметом, а не излучением глаза.

Иоанн Филопон (VI в.) считал: если лучи света излучаются по прямой линии и отклоняются гладкими поверхностями согласно закону равных углов, то можно предположить, что воздействие цветных и светящихся предметов на глаз происходит по прямым линиям и отражается в зеркалах согласно закону равных углов. Замена понятия лучей зрения акцидентным подходом позволяла избежать понятия излучения и сохранить сам феномен. Рассматривая параллельно свет и цвет, Филопон в этом превзошел Аристотеля. Он уточнил концепцию света, преобразовав ее из изменения состояния в «качественный скачок», происходящий мгновенно, как у Аристотеля воздействие цвета на глаз.

В поздней Античности наметилась новая тенденция объяснения механизма зрения в ответ на идеи Аристотеля. Эклектизм этой тенденции отражал влияние принципа эманации неоплатонизма (видимым примером которого являлось излучение, исходящее из Солнца) и более четких представлений атомистов о пространстве и движении. Зрительное восприятие определялось как следствие скачка света от видимых объектов — движения, которое передается через свет видимые свойства предметов глазу. Эта передача могла быть проанализирована с геометрической точки зрения.

Вторая традиция — математическая — была основана Евклидом и продолжена Птолемеем. Евклид направил свои усилия на геометрию зрения, практически игнорируя физическую составляющую в угоду анализу хода лучей. Результатом его исследований стала теория геометрической перспективы, базирующаяся на предположении, что из глаза в направлении видимых предметов испускается конус зрительных лучей. Эта традиция была подхвачена рядом арабских ученых в VIII–IX вв., до оптической революции Альхазена. Евклида заботила лишь математическая сторона дела. Целью его «Оптики» была разработка геометрической теории восприятия пространства, основанной на зрительном конусе, где нематематические аспекты света и зрения занимали скромное место. По его экстремистской теории излучение исходит из глаз в форме конуса. Восприятие возникает, когда лучи в этом конусе сталкиваются с непрозрачным объектом. Воспринятые глазом размер, форма и местоположение объекта определяются схемой и местом пересечения этих лучей. Объекты, на которых лучи прерываются, видимы, а их расположение ощущается наблюдателем за счет определенного пространственного расположения прерванных лучей внутри этого конуса. Евклид также анализировал зеркальные отражения, понимая закон равных углов и геометрические правила локализации отраженных образов. Эта традиция была продолжена во II в. Птолемеем, добавившим к оптическому знанию Античности исследования по преломлению.

Третья — медицинская — традиция, связанная с античными моделями глаза Эрофила, Руфуса и Галена, развивалась в эпоху арабского Средневековья. Гален детально исследовал анатомию глаза и оптического нерва. Его практические навыки позволили сформулировать зрительную теорию, заимствованную с некоторыми модификациями из взглядов стоиков. На его модели базировались мусульманские построения стадий зрительного процесса, оперировавшие соотношениями и расположениями сферических оболочек глаза [328].

Эти три традиции арабы восприняли от Античности как самостоятельные учения, конкурировавшие друг с другом, по-разному отвечавшие на одни и те же вопросы и объяснявшие одни и те же явления.

Физическая теория Аристотеля, поддерживаемая школой перипатетиков, концентрировалась на физических реальностях света, его распространения и восприятия. Геометрический анализ света и видения Евклида и Птолемея обсуждал в основном математические критерии. Анатомический подход Галена порождал физиологическое описание, необходимое для медицинских концепций.

8.5. АРАБСКИЕ ПЕРЕВОДЫ — ТРАНСЛЯЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Работы Аристотеля, Евклида и Птолемея, оказавшие влияние на представления греков о свете и зрении, были переведены на арабский язык и положили в исламском мире начало исследованиям в области оптики. Анализировались и развивались различные подходы греков к оптическим явлениям. Греческая оптическая литература претерпела двойную трансформацию:

пространственную и лингвистическую. В начале X в. греческие труды в переводе были доступны в Багдаде и других городах исламского мира. История этого долгого и сложного процесса изложена в монографии Линдберга [253].

Начиная с азиатской кампании Александра Македонского, греческая культура в продолжение девяти веков распространялась на восток. Это привело к тому, что Западная и Центральная Азия стали эллинистическими, во что внесли свой вклад и само завоевание, и колонизация, и торговые связи. Важным оказалось религиозное развитие в связи с возникновением и распространением греческого христианства. Миссионерская деятельность способствовала возникновению христианских церквей в Западной Азии. В IV в. процесс усилился за счет христианских ересей, проигравших теологические баталии между церковными течениями. Еретики (несториане и др.) начали движение на восток, неся с собой греческий язык и культуру, включая книги и школы. Ислам, основанный в начале VII в., завоевал эти регионы, и греческий язык распространился среди греческих эмигрантов и элит, представлявших местное население. Образованное сословие находило греческие теории привлекательными и практичными. Греческая медицина стала востребованной, философия и математические науки нашли своих приверженцев. На протяжении веков исламские элиты патронировали переводы, и к 900 г. появились арабские версии греческой научной классики и важнейшие оптические работы. Последующие три столетия наблюдался расцвет исламской оптики, основанной на греческом фундаменте.

Арабская оптика стала наследницей эллинистической оптики. Она позаимствовала у последней понятия, результаты и традиции. Первые арабские ученые изучали только греческих авторов — Евклида, Герона, Птолемея, Теона и др. Оптика отличалась от прочих разделов арабских наук тем, что основывалась исключительно на эллинистическом фундаменте. Но это не помешало обновлению оптического знания. После передачи греческих текстов началась их обработка, накопление новых результатов и пересмотр основных положений. Достаточно было двух веков, чтобы подготовить революцию, наложившую отпечаток на всю историю оптики [306].

Арабские переводы греческих текстов по оптике (IX в.) граничат по времени с первыми научными работами арабов. Это совпадение не относится исключительно к оптике, оно наблюдается в математических дисциплинах и во всей совокупности древнего наследия. Не являясь пассивным, перевод связан с научно-исследовательской деятельностью эпохи. Хотя даты многих переводов по оптике (как и имена переводчиков) не дошли до нас, известно, что они были сделаны в первой половине IX в. В трудах переводчиков Кусты ибн Луки и Хунайна ибн Исхака, ученых-философов аль-Кинди и Ибн Зала упоминаются имена библиографов ан-Надима и Ибн Халдуна. Они жили в IX в., что позволяет характеризовать это время как эпоху глубокого интереса к научно-философским изысканиям и оптическому знанию. В произведениях Ибн Луки и аль-Кинди упоминаются арабские переводы «Оптики» Евклида и труда Анфимия Тралльского. Переводы затрагивали все области эллинистической оптики: изучение перспективы, иллюзий, зажигательных зеркал, атмосферных явлений. Из них состоят главы оптики, переписанные аль-Фараби в работе о классификации наук. К ним же следует добавить

изложения по теории зрения и размышления о теориях физической оптики, например о цвете.

Определенное влияние на арабских ученых оказала «Оптика» Птолемея. Она была переведена арабами предположительно между 813 и 833 гг. при поддержке халифа аль-Мамуна [246]. В это время был переведен еще целый ряд работ Птолемея, включая «Альмагест» [278]. Активность в переводе оптических текстов объяснялась интересом научного и философского характера, а также возможностью их применения. Халифы и принцы поощряли исследования в области зажигательных зеркал — грозного оружия, позволившего Архимеду сжечь в бою флот Марцелла.

Первое свидетельство проникновения «Оптики» Птолемея в арабский мир относится ко второй половине IX в. и обнаружено в трудах ученого-математика аль-Кинди. Фактически его трактат «De aspectibus» («О зрении») представляет собой композицию из собственных идей и труда Птолемея. Показательно обсуждение проблемы остроты зрения (теорема 12), которая прямо перекликается с теоремой 20 второй книги «Оптики». Однако не все историки науки считают аль-Кинди последователем Птолемея. Мнение о том, что он не использовал «Оптику» Птолемея, было высказано ввиду отсутствия в его трактате обсуждений явления рефракции [321]. Аль-Кинди нигде не называет великого ученого Античности по имени. В некоторых местах, например в рассуждениях о зрительных истечениях (теорема 14), его позиция отличается от птолемеевской трактовки [134]. Дополнительным поводом для сомнений в знакомстве аль-Кинди с «Оптикой» является приписываемая ему работа «О размере тел, погруженных в воду», где увеличение таких предметов для наблюдателя над поверхностью воды описывается на языке отражений [303]. Неоспоримое доказательство влияния «Оптики» Птолемея на исламскую науку мы находим в трудах арабского математика второй половины X в. Ибн Зала [317].

За этими исключениями трактат Птолемея мало повлиял на изучение оптики до начала XI в., когда Альхазен предпринял исследования, результатом которых стала критика взглядов Птолемея. Кроме работ «Трудности теории Птолемея», «Мемуар по оптике о методе Птолемея», он написал обобщение двух «Оптик» — Евклида и Птолемея, в котором попытался воссоздать утраченную часть пятой книги последнего. Всего им было написано 16 томов оптических исследований [322].

Самым значительным трактатом, посвященным оптическим явлениям, было «Сокровище оптики» Альхазена. Этот глубокий труд включил в себя натурфилософские утверждения, анатомические рассуждения физика и геометрические доказательства математика. Альхазен применил геометрию почти ко всей оптике, включая распространение внешней радиации внутри глаза, что явилось математическим триумфом. Он достиг успеха в геометрическом решении проблемы формирования образов в зеркалах и преломляющих средах [223], [252]. Структура этого труда Альхазена повторяет построение «Оптики» Птолемея: те же три метода видения излагаются в оптике (первая-третья книги), катоптрике (четвертая-шестая книги) и диоптрике (седьмая книга). Весь труд отражает влияние античных теорий и конкретных рассуждений Птолемея [338].

Таким образом, арабские ученые середины X в. обладали переводом «Оптики» Евклида и большей части «Оптики» Птолемея. Они имели доступ к «Катоптрике» Псевдо-Евклида, а также к произведениям, приписываемым Герону Александрийскому. Арабам было известно почти полное собрание греческих текстов о зажигательных зеркалах, часть из которых дошла до нас только в переводе на арабский язык. Кроме труда Диокла, были переведены тексты Анфимия Тралльского и греческого автора Дидима. Мусульманские мыслители могли читать на арабском «Метеорологику» Аристотеля и некоторые комментарии, в частности комментарий Олимпиодора. Арабские ученые были осведомлены о работах Галена по анатомии и физиологии глаза и располагали сочинениями философов поздней Античности на другие темы физической оптики, например трактатом Александра Афродизийского о цвете.

НАЧАЛА АРАБСКОЙ ОПТИКИ

Четыре вещи укрепляют зрение:
сидение лицом в направлении Каабы,
подведение глаз перед сном,
зеленый цвет и чистота места сидения.

Имам Шафии

Унаследованные исламом теории зрительного восприятия опирались на представления, содержащиеся в комментариях к Аристотелю периода поздней Античности. Греческие знания по оптике и анатомии глаза сохранились благодаря переводам на арабский язык.

Целью математиков-астрономов, философов-натуралистов и медиков было не только сохранение этого наследия, но и восполнение пробелов и исправление того, что они считали противоречиями и ошибками. У Евклида, Птолемея и Галена они находили неточности и уточняли результаты наблюдений. Были попытки их приведения в соответствие со взглядами Платона и примирения Галена с Аристотелем в отношении зрительного восприятия. За этой критикой последовали оригинальные модели механизма зрения [315].

Значимость исламской средневековой оптики определяется не числом развивавших ее ученых, а весомостью их вклада. Первые работы арабов по анатомии глаза относятся к IX в. Абу Юсуф аль-Кинди и Куста ибн Лука



Рис. 9.1
Портрет аль-Фараби

исследовали отражения от вогнутых сферических и конических зеркал. Аль-Кинди подверг критике евклидову теорию видения. Его вкладом явилось утверждение, что свет испускается светящимся объектом из каждой точки его поверхности во всех направлениях независимо от других точек. Он считается одним из основателей атмосферной оптики, поскольку изучал природу небесной голубизны. Его последователь ан-Наиризи описал ряд оптических явлений в атмосфере. Важный вклад в физиологическую оптику внесли философы и медики Ибн Масавайх, Хунайн ибн Исхак и ар-Рази, изучавшие анатомию глаза и свойства составляющих его оболочек и сред. Философ аль-Фараби (рис. 9.1) в начале X в.

в трактате «Книга духовных искусных приемов и природных тайн о тонкостях геометрических фигур» подробно сообщал о действии зажигательных зеркал [58].

Многие достижения в оптике той поры известны недостаточно. Рукописи свидетельствуют, что в конце X в. багдадский математик Абу Саад аль-Ала ибн Зал (940–1000) предпринял эксперименты по преломлению света при прохождении прозрачных сред с плоскими и сферическими границами раздела. Таким образом, его можно отнести к первооткрывателям закона преломления. Недавно установлено, что первое объяснение явления радуги было дано аль-Фариси в комментарии к эпистоле Альхазена [305].

9.1. РОЖДЕНИЕ АЛЬ-МАНАЗИР: ИБН ЛУКА, АЛЬ-КИНДИ И ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛИ

Первыми исследователями в области арабской оптики были Куста ибн Лука и аль-Кинди. Ибн Луке (820–912 гг.) приписывают не дошедший до нас трактат о зажигательных зеркалах, тогда как другой его труд, «О зрительных восприятиях», уцелел. Во введении к нему Ибн Лука определяет оптические понятия и очерчивает границы и предмет науки. Определение «зрительные восприятия» (*аль-Маназир*) обозначает *оптику*. Похожее выражение — «зрительные восприятия в зеркале» — используется для обозначения катоптрики. Предметом науки Ибн Лука считает изучение многообразия точек зрения (перспектив) и их причин.

Поиск причин обязывал Ибн Луку идти дальше геометрических рассуждений. Он соединил геометрию и психологию зрительного восприятия. Отсюда становится понятным его описание содержания оптики и катоптрики: «Из наглядных наук лучшая та, в которой участвуют физика и геометрия: от физики она заимствует сенсорное восприятие, а от геометрии — доказательства. Я не нашел более красивого соединения этих двух видов искусства, чем в науке о лучах, особенно о тех, которые отражаются от зеркальной поверхности» [260]. Для Ибн Луки оптика и катоптрика не ограничиваются геометрией: для описания визуального восприятия математика объединена с физикой. Это отличает его от Евклида и отождествляет *аль-Маназир* с *Перспективой*, которая появится в работах латинян только после реформы Альхазена.

Целью труда Ибн Луки явилось изучение отражения от плоских, выпуклых и вогнутых зеркал, а также изображений, полученных в зависимости от положения видимого предмета относительно зеркала. Ибн Лука начинает рассуждения о видении и описания некоторых оптических эффектов. Его учение берет начало от Евклида и Галена. Видение происходит «посредством луча, который рассеивается, начиная от глаза, и попадает на видимые предметы, увиденные посредством попадающих на них лучей. То, на что попадет луч зрения, будет увидено глазом, а на что не попадет луч зрения, увидено не будет». В этих словах Ибн Луки почти прямо цитируется третий постулат «Оптики» Евклида. Остается уточнить форму луча зрения: «Видимый луч рассеивается, начиная от глаза, в виде конуса, вершина которого находится со стороны смотрящего глаза, а основание — со стороны разглядываемого предмета. Зрительный конус проходит из смотрящего глаза, следуя по прямым

линиям, без изгибов; угол ограничен двумя сторонами конуса, и этот угол направлен в сторону видимого предмета» [260].

Определениям Евклида Ибн Лука противопоставляет взгляды Галена, согласно которым «визуальный луч рассеивается, исходя из физического сознания; он поднимается из мозга на поверхность зрачка через два полых нерва, которые пересекают мозг, доходя до обоих глаз, и распространяется из глаз в воздух, достигая видимых предметов, чтобы стать как бы органом человека». Зрение воспринимает видимые предметы за счет взаимодействия двух типов лучей — солнечного и огненного. Каждый из них «насыщает воздух сиянием, без которого нет видения и в котором оно есть». Ибн Лука ничего не говорит о роли воздуха и сияния в видении. Заимствования у Галена объясняются неспособностью учения Евклида обосновать, что луч зрения представляет собой инструмент глаза, тогда как видение является деянием души. Единственным средством, которым Евклид располагает в исследовании, является закон отражения: «Луч зрения, а также любой луч, если он встречается гладкое тело, отражается от него под равными углами». Ибн Лука предполагает, не разъясняя, что падающий и отраженный лучи находятся в одной плоскости, перпендикулярной к плоскости зеркала. Его больше интересует угол, под которым объект воспринимается в зеркале, чем образ этого объекта в оптическом смысле. Он находится в плену эллинистической оптики и катоптрики, будучи переводчиком трактатов с греческого. Ознакомившись с учением Евклида, Ибн Лука пишет трактат, используя сведения из его «Оптики», а также «Катоптрики» и, возможно, других источников. Однако он не ограничивается комментарием к Евклиду или Псевдо-Евклиду, а принимает за исследование «забавных» зеркал, вносит поправки в учение о видении и приводит доказательства того, что Евклид формулировал как постулат.

Аналогичные исследования проводит аль-Кинди в философском произведении по оптике и работах о зажигательных зеркалах. Аль-Кинди ставил себе задачу в учении древних «развить то, что они начали» и исправить допущенные ошибки. Это отражено в двух дошедших до нас произведениях по физической оптике. Наибольшую известность получил его трактат в латинском переводе под названием «De aspectibus».



Абу Юсуф Якуб ибн Исхак аль-Кинди (ок. 800 — ок. 870 гг.), представитель выдающейся арабской фамилии, был первым исламским ученым, овладевшим оптическим наследием греков. Его научная карьера развивалась в основном в Багдаде. Аль-Кинди интересовался оптикой, поскольку она составляла часть его взгляда на мир как на совокупность излучений, которые могут быть изучены. Он был знаком с трактатом Евклида и даже написал к нему комментарий — «Исправление ошибок и трудности, с которыми столкнулся Евклид в своей книге под названием „Оптика“». Аль-Кинди защищал модель излучения из глаз наблюдателя и его прямолинейность. Он возражал против того, что зрительные лучи дискретны и разделены в пространстве, утверждая, что излучаемый конус физически реален (в этом Евклид двусмыслен) и непрерывен [252], [300]. Производя «коррективы и расчистки евклидовой теории зрительного излучения», он следовал трактовке Птолемея.

Аль-Кинди внес и собственный вклад в теорию излучения, исходящего от светящихся объектов. Он поставил под сомнение античное мнение о том,

что свет испускается светящимися предметами как едиными и целостными источниками, и впервые заявил, что свет исходит во всех направлениях из каждой точки поверхности объекта независимо от всех прочих точек. Это было фундаментально новое явление, приведшее последователей аль-Кинди к революционным выводам [259].

Новое положение было сформулировано примерно за два столетия до работ Альхазена, который также рассматривал излучение как процесс, в котором каждая индивидуальная точка светящегося тела излучает независимо во все стороны (рис. 9.2) [253]. Нововведение аль-Кинди поставило проблемы перед последователями интрамиссионной теории. Как может независимое, нескоррелированное излучение от объекта сформировать единое цельное визуальное впечатление, возникающее у зрячих людей? Если каждая точка объекта светит во все стороны, то разные ее лучи достигают разных точек глаза. Тем самым каждая точка глаза одновременно получит излучение от всех точек объекта в пределах поля зрения (рис. 9.3). Это может привести скорее к полному хаосу, чем к правильному впечатлению. Для формирования зримых образов необходим перенос *точка в точку* информации об объекте: каждая точка чувствительной оболочки глаза должна соответствовать излучению только от одной точки поля зрения. Если это возможно, то узор принятых точек в глазу будет точной репликой узора излучающих точек внутри поля зрения. Тогда установится соответствие между окружающим миром и его образом, как мы его видим.

Аль-Кинди стремился доказать более радикальным, чем Ибн Лука, способом то, что постулировал Евклид. Первая четверть труда «De aspectibus» посвящена доказательству прямолинейного распространения лучей света геометрическими рассуждениями о теньях и прохождением света через щели. Он развил примечания к «Оптике» Евклида, приписываемые Теону Александрийскому [252]. Значение поправки заключается в идее луча. Как и Ибн Лука, аль-Кинди исключает чисто геометрическое содержание лучей:

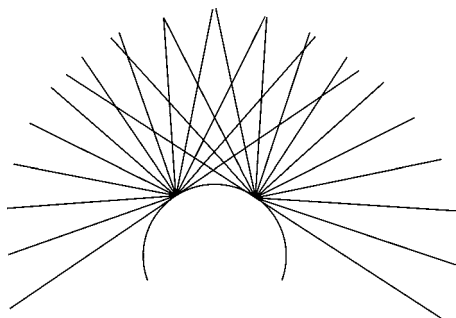


Рис. 9.2
Излучение конусов лучей
всеми точками светящегося тела

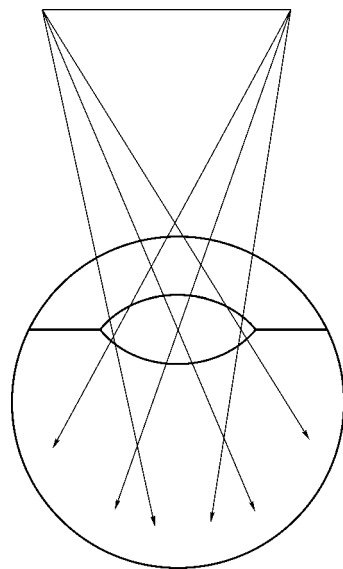


Рис. 9.3
Лучи, испускаемые
крайними точками
наблюдаемого объекта,
смешивающиеся в глазу

они являются не только геометрическими прямыми, но и впечатлениями, произведенными трехмерными телами. В терминах аль-Кинди, «луч представляет собой воздействие светящихся тел на темные тела, которые получают данное воздействие... Луч, оказывающий воздействие, является телом, имеющим три измерения: длину, ширину, глубину. Таким образом, луч не распространяется по прямым линиям, между которыми были бы интервалы». Эта критика концепции луча подготавливает важный шаг, который будет сделан Альхазеном: разделение между светом и прямой линией, по которой он распространяется. Однако аль-Кинди должен был еще объяснить разнообразие восприятия в зависимости от разных участков конуса. В данном вопросе он отошел от позиций Евклида и Птолемея, полагая, что из любой точки глаза исходит зрительный конус.

Вклад аль-Кинди в развитие науки не ограничивается работами по оптике и катоптрике. Он хотел изложить все проблемы, унаследованные древней оптикой, и отдельный трактат посвятил зажигательным зеркалам. Этот трактат, как и другие его работы, одновременно и принимает, и отвергает доктрины древних ученых. Аль-Кинди намеревался устранить в нем недостатки учения Анфимия Тралльского. Впоследствии многие арабские ученые, в том числе Ибн Зал и Альхазен, не забывали включать в программу исследований учение о зажигательных зеркалах, причем, в отличие от Античности, как центральный раздел оптики, а не частность.

Поражают широта и строгость, с которыми аль-Кинди изучал зажигательные зеркала. Он рассматривал пять типов зеркал — больше, чем его предшественники, ссылаясь на труды Анфимия Тралльского, чтобы пойти дальше. Правда, он не включил в изучение эллипсоидальные зеркала, поскольку не интересовался легендой об Архимеде.

Аль-Кинди также был автором небольшого исследования, в котором установил, что «размеры фигур, погруженных в воду, видятся тем больше, чем глубже они погружены», из чего сделал вывод о явлении преломления. (Трактат свидетельствует, что автор в то время не был знаком с «Оптикой» Птолемея.) Были и другие труды — в них аль-Кинди рассуждал о цвете. Один трактат назывался «О теле, по своей природе являющемся носителем цвета из четырех элементов и которое является причиной цвета в других», и этим телом является земля. В другом трактате он задавался вопросом о «причине лазурного цвета атмосферы неба, который, как полагают, и есть цвет неба». Аль-Кинди утверждал, что лазурный является не цветом неба, а смесью темноты неба и света солнца, отраженной от частиц земли в атмосферу. Это еще не догадка о рассеянии света в атмосфере, но уже рассуждения в правильном направлении.

Аль-Кинди был сторонником экстрамиссии лучей из глаз наблюдателя в виде протяженных зрительных конусов. Используя старые аргументы, он выявил некоторые различия между теориями копий предметов и тактильного восприятия. Для аль-Кинди верность теории видения зависела от ее способности трактовать такие проблемы, как восприятие расстояния, положения, яркости, а также формы и ориентации предметов в пространстве, для получения истины посредством наблюдения и геометрической логики. Теория интрамиссии не отвечала этим условиям.

В отношении ориентации в пространстве и восприятия формы он приводил пример с кругом, наблюдаемым сбоку. «Если зрительное восприятие является результатом проникновения полной формы в глаз, — утверждал он, — тогда должна восприниматься форма круга целиком. Однако, глядя на круг сбоку, мы видим не круг, а прямую линию. То, что воспринимается, ограничено углом зрения, определяющим вид объекта, вступающего в контакт с лучом зрения».

Полагая, что воспринимаемые предметы являются целостными и неделимыми, аль-Кинди считал, что, если бы видение происходило путем интрамиссии без учета расстояния до предметов в поле зрения, предметы воспринимались бы одновременно и с одинаковой яркостью вне зависимости от их параметров. Глаза не могли бы определить их местонахождение, что противоречит действительности. Для аль-Кинди в повседневном опыте предметы воспринимались не одновременно, а поочередно, как при чтении. Он пытался объяснить яркость видимых предметов, расположенных ближе к центру поля зрения, в противоположность находящимся далеко или на периферии поля зрения, за счет ослабления способности зрительного восприятия при удалении предметов от глаза. Аль-Кинди не связывал силу центрального луча в конусе угла зрения с его длиной, которая была короче периферийных лучей. Вместо этого он утверждал, что находящиеся ближе к центру предметы воспринимаются более яркими из-за большей концентрации лучей в этом месте, так же как две свечи освещают одну и ту же зону лучше, чем одна.

В «*De aspectibus*» обсуждается физическая природа зрительных истечений и подчеркиваются трансформации прозрачных сред под воздействием силы визуального излучения из глаз. Эта работа во многом математическая. Ее страницы, как и оптические работы Евклида и Птолемея, содержат геометрические построения (рис. 9.4). Аль-Кинди уделяет внимание доказательству прямолинейного распространения света. В его работе приводятся объяснения наибольшей остроты видения в центре поля зрения. Несмотря на рассмотрение физических аспектов зрения, он учит своих последователей анализировать освещаемые поверхности в представлении точечных источников, от которых линии идут во всех направлениях.

Аргументы аль-Кинди о лучах зрения основываются на геометрических соображениях, полученных из опытов с источниками света или из модельных представлений. Опираясь на гипотезу об аналогии луча света и самого света, аль-Кинди доказывает постулат Евклида, согласно которому распространение луча света является прямолинейным. Он объясняет трехмерную природу и физику лучей света (в противоположность геометрическим линиям Евклида) и их прямолинейное распространение от источников. Аль-Кинди ссылается на возможный опыт, в котором свеча помещена как источник света напротив отверстия,

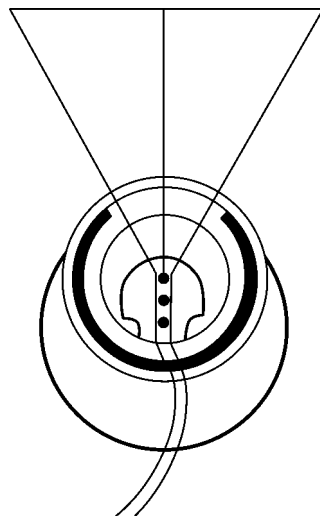


Рис. 9.4
 Диаграмма из трактата аль-Кинди «*De aspectibus*»

а экран расположен за отверстием. В этом случае прямая линия, проведенная от верхней точки пламени к нижней границе освещенной области на экране, коснется нижнего края отверстия.

Занимаясь теорией излучения, аль-Кинди предположил, что из каждой точки поверхности глаза исходят лучи, которые следуют в направлении каждой прямой, исходящей из этих точек. Его гипотеза основывалась также на аналогии между излучениями и источниками света. Таким образом, мы видим доказательства прямолинейного распространения лучей света и описание лучеобразного рассеяния света во всех направлениях из каждой точки поверхности светящихся тел, освещающих все, что они встречают на своем пути по прямой линии. Для аль-Кинди это описание, являясь аналогией способа распространения луча зрения, послужило толчком к более точному определению положения видимого предмета внутри конуса излучения. Оно предполагало физическое разделение видимого излучения, которое до сих пор считалось неделимым, на точки на поверхности глаза и предмета, с которым происходит контакт. Таким образом, конус Евклида и Птолемея у аль-Кинди изменился и превратился во множество конусов, исходящих из каждой точки поверхности глаза. В результате получилась трехмерная сетка из конусов, которая, вне зависимости от удаленности лучей, не позволяла ни одному предмету ускользнуть из поля зрения не обнаруженным, что раньше являлось проблемой для простого конуса.

Таким образом, с именем аль-Кинди ассоциируются четыре исследования по оптике и катоптрике, три — по зажигательным зеркалам и их конструкции и три — по физической оптике. На вопрос, является ли это количество окончательным, нельзя ответить точно. До нас дошли латинский перевод одного из его трудов по оптике — «*De aspectibus*», работа на арабском языке «Исправление ошибок и трудности, с которыми столкнулся Евклид в своей книге под названием „Оптика“», трактат о зажигательных зеркалах и два исследования по физической оптике.

Не вызывает сомнений, что Куста ибн Лука и аль-Кинди явили собой рассвет арабской оптики и катоптрики.

9.2. РАЗВИТИЕ АЛЬ-МАНАЗИР:

ХУНАЙН ИБН ИСХАК, АР-РАЗИ И ИБН ЗАЛ

Когда аль-Кинди обратился к изучению глаза, ему потребовалось немного времени, чтобы установить, что глаза не полые, как уши, поскольку могут получать впечатления; они имеют сферическую форму, чтобы управлять взглядом, выбирать предмет и посылать свои лучи в его направлении. Это умозаключение содержало в себе телеологическую гипотезу, связывающую структуру глаза с его функцией. Современник аль-Кинди Хунайн ибн Исхак (809–873) использовал особенности глаза, чтобы отказаться от теорий интрамиссии и луча зрения. Он был потомком арабских христиан и переводчиком медицинских работ, изучил труды Галена и комментарии к ним, владел арабским, сирийским (арамейским) и греческим языками (рис. 9.5).

Первая модель зрения, основанная на теории Галена, была изложена в книге Хунайна ибн Исхака «Десять трактатов о строении глаза, его болезнях

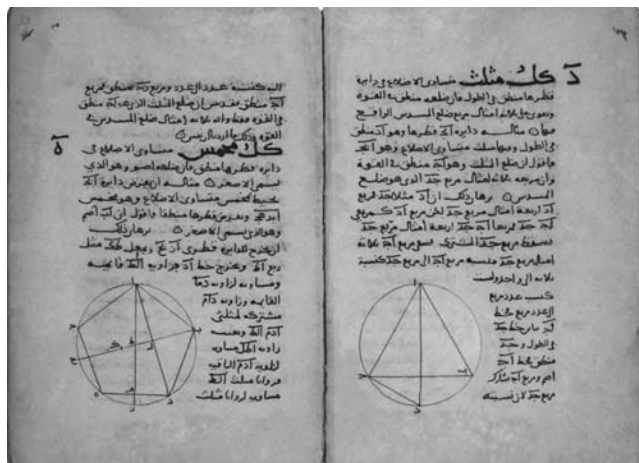


Рис. 9.5
Хунайн ибн Исхак.
Рукопись с изложением трудов Евклида.
Марокко, 1284–1285 гг. Из библиотеки Рабата



Рис. 9.6
Представление о глазе
Хунайна ибн Исхака.
Копия манускрипта III в.
Национальная библиотека
Каира

и лечении». Она стала справочником по строению глаза и глазным болезням. Автор следовал в ней за трактатом Галена «О назначении частей человеческого тела» [274]. В «Десяти трактатах» Ибн Исхак принимает теорию Галена, согласно которой в присутствии света пневма преобразует воздух в расширение органа зрения. Он описывает эту трансформацию в терминах механики: исходящая из глаз пневма ударяется о находящийся вокруг воздух, как при столкновении. Тактильный характер концепции видения проявляется, когда в очередной раз приводится сравнение с тростью слепого: «Если человек идет в темноте с тростью в руке, вытягивая ее как можно дальше перед собой, и если трость встречает предмет, мешающий двигаться дальше, то человек с тростью немедленно узнает, что предмет, мешающий трости продвигаться вперед, является твердым телом и оказывает сопротивление всему, что его касается. Также обстоит дело со зрительным восприятием». Ибн Исхак пытается объяснить, каким образом можно видеть в зеркалах и других гладких поверхностях отражения, и применяет к теории Галена принцип равенства углов падения и отражения, вытекающий из тактильных теорий зрительного восприятия. Благодаря «Десяти трактатам» и их латинскому переводу Константина Африканского «Книга о глазах», мы располагаем углубленным вариантом теории Галена и детальной анатомией глаза, переданной арабскому миру (рис. 9.6).

Распространение этих трудов вызвало дискуссию о зрительном восприятии между медиками и окулистами, которые следовали Галену, и теми, кто отвергал идею излучения из глаз. Дискуссия привела к критике тактильных теорий в пользу интрамиссии.

Ибн Исхак уточнил визуальную модель Галена: зрительный дух, локализующийся в мозге, исходит через каналы обоих зрительных нервов. Он достигает глаза, пересекает хрусталик и высвечивается через зрачок. Одновременно

присутствующий снаружи свет и зрительный дух вместе трансформируют окружающий воздух, который испытывает изменение, становясь нервоподобным чувствительным продолжением. Этот воздух может изменяться под воздействием зримых объектов, например их цвета. Изменение передается в обратном направлении глазу, где воздействует на хрусталик и через зрительные каналы проникает в мозг [174].

Если аль-Кинди имел дело с математикой излучения, то Ибн Исхак работал над анатомией и физиологией зрительного аппарата. Он утверждал, что чувствительным органом глаза является линза хрусталика (рис. 9.7). Ибн Исхак сделал доступным греческое анатомическое и физиологическое знание, принесшее пользу Альхазену, который обратился к нему через 150 лет [120].

Для развития визуальной модели по Галену была важна «Царственная книга», написанная Али ибн аль-Аббасом около 950 г. Она сохранилась в двух версиях — Константина Африканского и Стефана Антиоха. Это был медицинский компендиум, который делился на две части: теория и практика. Анатомия и функционирование органов чувств были описаны в теоретической части. Изучение начиналось с установления связей между пятью внешними чувствами и четырьмя базовыми элементами. В соответствии с неоплатоническими представлениями зрение, как наиболее благородное и чистое из всех чувств, связывалось с огнем. Его действие объяснялось теорией Галена, основанной на эмиссии зрительного духа и трансформации окружающего воздуха в похожий на нерв инструмент [210].

В споре между сторонниками экстра- и интрамиссионных теорий зрения важные аргументы нашел Абу Бакр Мухаммед ибн Закария ар-Рази (865 — ок. 925 гг.). В труде «Сомнения относительно Галена» он поднял следующий вопрос. Если расширение зрачка связано с передачей глазу пневмы зрения, как тогда объяснить, что оба глаза расширяются или сужаются одновременно? По мнению ар-Рази, изменение связано не с давлением расширяющейся пневмы, а с ослаблением внешнего света. Сильный свет воздействует на глаза



Рис. 9.7
Представление о глазе Хунайна ибн Исхака.
Копия манускрипта III в.
Национальная библиотека Каира

до причинения им боли, тогда как в темноте глаза не могут видеть. Необходимо было найти компромисс между двумя этими крайностями, обусловленными строением глаза. Если предмет сильно освещен, зрачок сужается, чтобы пропускать количество света, достаточное для зрительного восприятия, и не нанести ущерба зрению. Если предмет менее освещен, зрачок расширяется, чтобы пропустить количество света, необходимое для видения. Ар-Рази описывает не мышечное сокращение и расширение зрачка, а изменение размера отверстия в глазу в зависимости от освещения. Он поясняет механический характер этого процесса по аналогии с клапаном, контролирующим поток воды в ирригационной системе, расширяя и сужая вход в резервуар для обеспечения постоянной и регулярной подачи воды. Ар-Рази рассматривает движение зрачка как механизм, регулирующий количество света, проникающего в глаз [314].

В «Книге по медицине» ар-Рази более точен: зрачок сужается при ярком освещении и расширяется, когда интенсивность света уменьшается, чтобы доставить только то, в чем нуждается хрусталик. Гален и другие ученые отмечали опасность, которой подвергается глаз, если смотреть прямо на солнечный диск. У аль-Кинди отмечена связь между количеством света, достигающего до глаза от видимого предмета, изменением размера зрачка и видением. К сожалению, трактат, описывающий функцию зрачка, и работы по зрительному восприятию не дошли до нас, и невозможно оценить, насколько теория ар-Рази отличалась от греческих теорий о роли света при передаче формы видимого объекта.

Последователем аль-Кинди и Ибн Луки, по данным библиографа X в. ан-Надима, был Ибн Масрур ан-Насрани, изучавший зажигательные зеркала. Известны три сочинения на эту тему: трактат астронома Утарида ибн Мухаммеда, труд математика Абу-ль-Вафы аль-Бузджани и работа Ахмеда ибн Исы. Произведение Утарида представляет собой компиляцию трактата о зажигательных зеркалах Анфимия Тралльского и греческого труда, выполненного в традиции катоптрики [321]. В сочинении Абу-ль-Вафы применен изящный метод построения параболического зеркала. Работа Ибн Исы является компиляцией «Оптики» Евклида и трактатов аль-Кинди «Шлифование» и «Солнечные лучи», а также «О фигурах, погруженных в воду, предварительно подвергнутую заклинанию». Она важна для понимания греческих и арабских источников IX в., поскольку объединила главы независимых трудов. В этом труде описаны также зажигательные зеркала, ореол, радуга и строение глаза.

Интерес к изучению зажигательных зеркал обусловил ускоренное развитие катоптрики и диоптрики, что подтверждает работа Абу Саада ибн Зала [301]. Начав с изучения зажигательных зеркал, он первым исследовал зажигательные линзы. Знакомство с трудом Ибн Зала по-новому освещает деятельность его последователя Альхазена.

Античные авторы трудов по катоптрике изучали геометрические свойства зеркал и воспламенение, производимое ими на расстоянии. Решением этой проблемы занимался и аль-Кинди. Ибн Зал видоизменил вопрос, рассматривая, помимо зеркал, устройства, вызывающие воспламенение преломлением света. Он изучал параболическое и эллипсоидальное зеркало, плосковы-

пуклую и двояковыпуклую линзу при изменении расстояния от источника при отражении и преломлении света (рис. 9.8). В каждом случае он теоретически исследовал кривую профиля и изложил метод ее построения. В случае плосковыпуклой линзы он изучал гиперболу как коническое сечение, а затем анализировал кривую изгиба гиперболы с тем, чтобы исследовать плоскости, касательные к поверхности вращения этой кривой вокруг прямой, и вывести законы отражения.

Ибн Зал предпринял экспериментальный анализ преломления света при его прохождении через прозрачные среды с плоскими или сферическими границами раздела. Измерения углов падения и преломления привели его к геометрическому эквиваленту современного закона преломления (известного с XVII в. как закон Снеллиуса), связывающего углы падения и преломления для прозрачных сред. Исследование отвечало на вопрос, который ставил в тупик Птолема за восемь веков до Ибн Зала и который еще 300 лет после него не изучали на Западе. Его результаты Ибн Зал изложил в трактате «О зажигательных зеркалах и линзах», описав фокусирование света вогнутыми зеркалами или выпуклыми стеклами. Он привел геометрические построения преломленных лучей (рис. 9.9), что позволило ряду исследователей сделать вывод о соответствии отношения длин обозначенных у Ибн Зала гипотенуз обратному показателю преломления стекла [306].

Другие историки науки склонны считать это отношение ошибочным (не закон синусов Снеллиуса, а неверный закон косинусов) [257]. Ибн Зал предлагал также создать механические приборы, чтобы намечать конусные сечения,

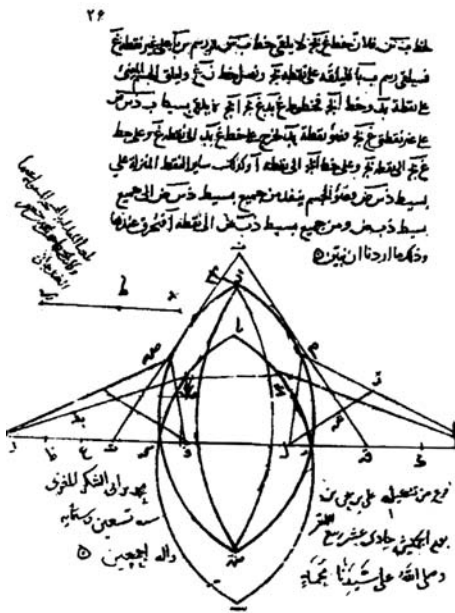
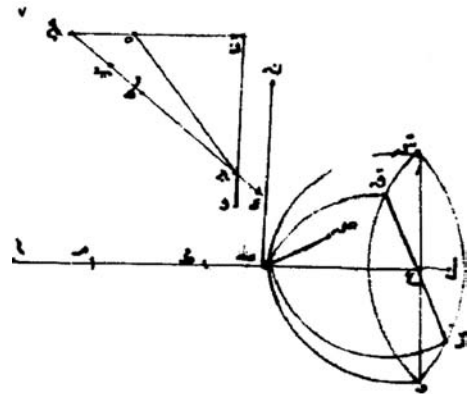


Рис. 9.8
Исследование двояковыпуклой линзы
Ибн Залом



لانه ان ماتة حيا بسطح مستوي غيره فلان هذا السطح يتقطع سطح من سطح
على نقطة مستوية فلا يميز ان يتقطع احد خطي من من غير ذلك فذلك
الخط مستوي والفصل المستوي بين هذا السطح وبين سطح قطع في ر
خط مستوي فلان هذا السطح يات من مسيط على نقطة مستوية
مستوي قطع في مستوي على نقطة مستوية وان كان سطح مستوي
فلا يات من مسيط مستوي على نقطة مستوي مستوي سطح مستوي مستوي

Рис. 9.9
Фрагмент из трактата Ибн Зала,
посвященный изучению
преломления света

образующие зеркальные поверхности или поверхности исследуемых им линз. После теоретических объяснений конусного сечения он обратился к графике, пользуясь системами, которые, возможно, были описаны в греческих книгах. В любом случае остаются сомнения по поводу того, знал ли Ибн Зал закон, который описывал: невозможно понять, какое значение он придавал тому постоянному коэффициенту, на который ссылался. Формулировка закона подразумевает использование функции синуса, а Ибн Зал говорил о постоянном коэффициенте, не прибегая к тригонометрической функции, характеризующей закон.

Принято считать, что в науке заслуги приписываются тому, кто сумел убедить в них мир, а не тому, кто впервые задумался над явлением. Этого не произошло со Снеллиусом, чьи результаты исследований были опубликованы Гюйгенсом, или с Кеплером: законы, носящие его имя, были взяты Ньютоном из текста ученого. Тем не менее мы знаем законы и Кеплера, и Снеллиуса. Можно предложить ввести и закон Ибн Зала. Что касается математических трудов последнего, то до нас дошли две его работы, хотя известно, что он написал пять. Сохранились трактат о конусах и комментарий к книге аль-Кухи о геометрических построениях, связанных с изготовлением и применением астролябий. По высказываниям о нем современников, Ибн Зал был известен как математик, в особенности геометр. Отсюда понятен его интерес к созданию графиков конических сечений и выяснению их оптических характеристик. Точкой пересечения двух этих областей — математической и физической — является исследование механических устройств для построения парабол, гипербол и эллипсов [146].

Эпизод с трактатом Ибн Зала по диоптрике показателен с точки зрения упущенной арабскими мыслителями и их латинскими последователями возможности достичь в Средние века важных знаний по преломлению и применить их для создания рефракционных оптических устройств — подзорных труб, прицелов, телескопов и т. п. Несмотря на это, средневековая арабская наука по праву считается важнейшим источником проникновения в Европу глубокого оптического знания. Это произошло благодаря переводам и широкому распространению оптических трактатов выдающегося мусульманского мыслителя Альхазена.

РЕФОРМА ОПТИКИ: АЛЬХАЗЕН И ЕГО «СОКРОВИЩЕ ОПТИКИ»

Взмах крыла бабочки на одном конце земного
шара может вызвать ураган на другом.

Восточная мудрость

10.1. ЖИЗНЬ И ТРУДЫ АЛЬХАЗЕНА

На научной базе, созданной аль-Кинди и Ибн Исхаком, каирский математик и астроном Ибн аль-Хайсам основал новую теорию видения, синтезировав части теорий предшественников. Их работы не идут в сравнение с его достижениями в области оптики. Абу Али аль-Хасан ибн аль-Хайсам (965–1039), в современной научной традиции Альхазен, внес решающие изменения в оптику, дал законченные формулировки ее законов и сделал много оптических открытий. Его называли самым выдающимся оптиком в период от Евклида до Кеплера, а многие историки науки относят его к величайшим мусульманским физикам. Галилео Галилея сравнивали с жившим за



Рис. 10.1
Фронтиспис книги «Селенография»
астронома Яна Гевелия, 1647 г.



Рис. 10.2
Портрет Альхазена на иранской банкноте,
XX в.

600 лет до него мусульманином Альхазеном, на фронтисписе труда «Селенография» астронома Гевелия они изображены рядом (рис. 10.1). При этом Альхазен символизирует разум, а Галилей — чувства. В XX в., как величайший исламский мыслитель, Альхазен удостоился быть изображенным на иранской банкноте в 10 тысяч динаров (рис. 10.2).



Альхазен родился в Басре на слиянии Тигра и Евфрата, жил и работал в Египте и умер в Каире. В молодости он старался разобраться в учениях религиозных сект, однако разуверился в проповедях, читаемых шарлатанами. У себя на родине он получил высокую административную должность, но когда она стала препятствием для занятий наукой, то переехал в Египет. Правителем в Каире тогда был Фатимид халиф аль-Хаким, который интересовался астрономией, покровительствовал ученым, но отличался вспыльчивым характером. Альхазен предложил халифу проект гидротехнического сооружения для управления уровнем воды в Ниле, нечто вроде прообраза Асуанской плотины. Однако проект не удалось реализовать, и, чтобы избежать опалы, Альхазен вынужден был до кончины правителя изображать умалишенного. Ученый жил в Каире в небольшой комнате университета Аль-Азхар, зарабатывая на жизнь обучением и переводами трудов Евклида и Птолемея.

Средневековой Европе он был известен как Альхасен. Сохранившиеся рукописи транслитерируют среднюю часть его имени как al-Hasan или Alhasen. Написание Alhazen появилось в первом печатном издании «Сокровища оптики» и в такой далекой от первоначального звучания форме используется до сих пор.

Альхазен был философом, математиком и искусным оптиком-экспериментатором. Он разработал технологию изготовления линз и изучил камеру-обскуру для доказательства прямолинейности распространения света. Он тщательно планировал эксперимент и проводил математический анализ проблемы. Известны названия почти ста трудов, принадлежащих перу Альхазена, из которых сохранилось 50 сочинений. Более половины его работ было посвящено математике, 23 — астрономии, 14 — оптике.

Зрительная теория была центральной темой работы Альхазена, но его интересы простирались на весь круг оптических явлений. Он анализировал природу излучений, связанную с освещением и цветом, различая естественно светящиеся объекты и те, которые получают внешний свет. Он рассмотрел явления отражения и преломления, расширил математический анализ излучаемого света и цвета, придав уточненную форму проблемам формирования изображений в зеркалах. Он предложил основу психологии визуальных восприятий, которые в эпоху Возрождения в европейских университетах изучали на основе его теории (рис. 10.3).

Альхазен приложил много усилий к установлению связи физически наблюдаемого мира с миром умозрительных

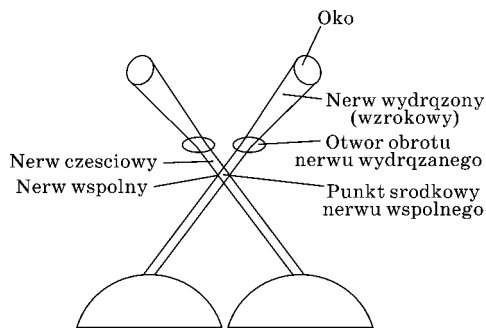


Рис. 10.3
Представления Ибн Сины
о видении двумя глазами [376]

образов, являющейся соединительным звеном между доминантами науки и религии. В наше время эта проблема остается актуальной для философии и феноменологии [196]. Анализируя восприятие красоты и гармонии визуальными средствами в эстетике, ученый указал на определяющую роль пропорций. Вслед за Галеном он изучал строение глаза, доказав несостоятельность представлений Платона и Евклида о человеческом зрении. Он разработал концепцию бинокулярного зрения и объяснил видение как процесс, при котором поступающие в глаз от объектов лучи формируют внутри хрусталика изображение.

Альхазен высказал предположение, что свету требуется определенное время на распространение. Он внес вклад в катоптрику, диоптрику и изучение атмосферных явлений, продолжил изучение отражений параболическими и сферическими зеркалами, рассмотрел вопросы их аберраций, экспериментально показал, что падающий луч, нормаль к поверхности и луч отраженный лежат в одной плоскости. Много идей он высказал и по преломлению света. Возможно, главная из них в том, что преломляющиеся световые лучи выбирают простейший и быстрейший путь для распространения из заданной начальной точки в заданную конечную. Этот тезис развивал идеи Герона об отраженных лучах и предвосхищал принцип минимального времени Ферма. Для изучения преломления световых лучей Альхазен экспериментировал со стеклянными цилиндрами в воздухе, с полуцилиндрами, помещенными в воду, и с линзами. С их помощью он оценивал увеличительную способность. До изобретения очков в Европе использовали кристаллические *читальные камни* в виде плосковыпуклых линз, помещаемых непосредственно на текст. Эти прообразы увеличительных стекол назывались *сегментами Альхазена*.

Альхазен связал учение о физических явлениях в природе с математическими методами. От натурфилософов им позаимствована идея о том, что видение наступает тогда, когда форма, исходящая от предмета, проникает в глаз. Как математик, Альхазен, ознакомившись с трудами Евклида и Птолемея, воспринял геометрический подход. Его вклад можно рассматривать как попытку применить геометрический метод к физической теории форм. Он пытался показать, каким образом форма, способная представить видимые признаки предмета, проникает через зрачок в мозг, где завершается процесс видения.

После Альхазена не было арабских исследований по оптике, хотя бы отдаленно сравнимых по значимости с его работами. Даже ат-Туси в комментариях к «Оптике» Евклида не достиг заданного Альхазеном уровня.

Задолго до Ньютона Альхазен разложил вектор скорости света на две компоненты относительно плоскости падения луча: продольную и поперечную. Он был близок к открытию закона преломления (закона Снеллиуса), но не смог этого сделать, в частности потому, что строил геометрические доказательства на основе хорд, а не синусов.

Альхазен оставил глубокий след в истории оптики, его работы оказали влияние на последователей — Бэкона, Вителло, Кеплера, Снеллиуса, Декарта, Гюйгенса и др. Принято считать, что он заложил основы теории зрения. В работах по катоптрике и диоптрике Альхазен использовал разработки своего старшего современника Ибн Зала.

В то время как Ибн Зал заканчивал в Багдаде трактат об инструментах, вызывающих воспламенение, Альхазен начинал свою научную деятельность в Каире и был знаком с трудами талантливого современника, ссылаясь на них и черпая в них вдохновение. Достижения аль-Кинди и Ибн Зала разрушают созданный историками образ Альхазена как ученого, творившего в уединении, предшественниками которого являлись математики Александрии и Византии — Евклид, Архимед, Птолемей и Анфимий Тралльский.

Исследования Альхазена, касающиеся диоптрики, зажигательных зеркал, камеры-обскуры и сферических линз, отражают преемственность традиций и позволяют оценить путь, пройденный оптической наукой за одно поколение.

10.2. РЕВОЛЮЦИОННЫЕ ИДЕИ АЛЬХАЗЕНА

В сравнении с трудами греческих и арабских математиков произведения Альхазена (рис. 10.4) в области оптики поражают объемом и важностью полученных результатов. До него никто не охватывал столь различные области, как философия, математика и медицина. Широкий спектр деятельности ученого иллюстрируют уже сами названия написанных им книг: «Свет луны», «Видимость небесных тел», «Радуга и ореол», «Сферические зажигательные зеркала», «Параболические зажигательные зеркала», «Пылающая сфера», «О форме затмения», «Образование теней», «Трактат о свете». Главная книга его жизни — «Сокровище оптики» — изучалась и комментировалась на арабском и латинском языках до XVII в. Альхазен затрагивал традиционные для оптической науки темы и разрабатывал новые вопросы. Большинство его трудов направлено на реформирование оптики. основополагающее содержание реформы состояло в установлении различий между условиями распространения света и видения предметов. Физическим обоснованием закона распространения света стала математически подтвержденная аналогия между движением света и полетом пули в цель.

Благодаря Альхазену оптика разделилась на две части: теорию видения, с которой связаны физиология зрения и психология восприятия, и теорию света, с которой соприкасаются геометрическая и физическая оптика. В его трудах еще сохраняется наследие оптики древних: старинные термины и субъективное восприятие образов. Но эти пережитки не препятствуют формированию нового подхода. Реформа привела к возникновению новых вопросов, таких как задача Альхазена в катоптрике, исследование сферической линзы и диоптра как элементов, вызывающих воспламенение, и как оптических инструментов.

Реформа Альхазена была двоякой. В первую очередь он отверг экстремистскую теорию. Обратил внимание на способность ярких объектов (как внешних причин) повреждать глаза и задался вопросом, как это может происходить,



Рис. 10.4
Абу Али аль-Хасан
ибн аль-Хайсам (Альхазен).
Современное изображение

когда при рассматривании небес глаза становятся источниками материальных эманаций, падающих на все пространство вплоть до сферы неподвижных звезд. Дискредитировав экстрамиссионные теории в качестве полезных гипотез механизма зрения, он сохранил главное их достижение — визуальный конус, инкорпорировав его в новую версию интрамиссионной теории. Внутри этого конуса распространялись зрительные лучи в модели экстрамиссии. Теперь он использовался для физических объяснений, даваемых теорией интрамиссии. Это может показаться простым шагом, но на самом деле ему препятствовал ряд трудностей [223].

Вторая решенная Альхазеном задача заключалась в разработке механизма зрения, соответствующего интрамиссионной гипотезе. Решение проблемы было следующим. Хотя каждая точка предмета в поле зрения посылает лучи в различные точки глазных оболочек, не все излучение производит зрительное ощущение. Только один луч от каждой точки предмета падает на глаз перпендикулярно, по нормали (рис. 10.5). Все остальные лучи падают наклонно и преломляются. В результате эти лучи ослабляются и отклоняются, играя вторичную роль в процессе видения. Чувствительный орган глаза — кристаллическая среда, или хрусталик, — воспринимает лишь нормальные лучи в форме визуального конуса с основанием снаружи и вершиной в центре глаза. Перенесением зрительного конуса из экстрамиссионной в интрамиссионную теорию Альхазен скомбинировал их преимущества и объединил математический и физический подходы к зрительному механизму в единую теорию. Он также присоединил анатомические и физиологические идеи галеновского учения, что позволило создать унифицированную визуальную теорию, отвечающую всем трем подходам.

Следуя Птолемею во многих вопросах, Альхазен не соглашался с ним по ряду принципиальных позиций. Находя птолемеевский список зрительных свойств недостаточным, он добавил в него шершавость и гладкость, красоту и уродство. Их невозможно описать математически. В результате перечень основных визуальных сущностей увеличился до 17 против пяти у Птолемея. Альхазен расходился с Птолемеем в объяснении роли света в зрительном процессе. Не принимая его функции катализатора зрительной чувствительности, он признает его актуальность как видимого объекта.

Самое большое расхождение между великими оптиками проявилось в вопросе о природе и направленности зрительных лучей. Из центра глазного яблока как источника зрительных излучений Альхазен переносит излучение на поверхность самого видимого объекта. Соответственно каждая точка этой

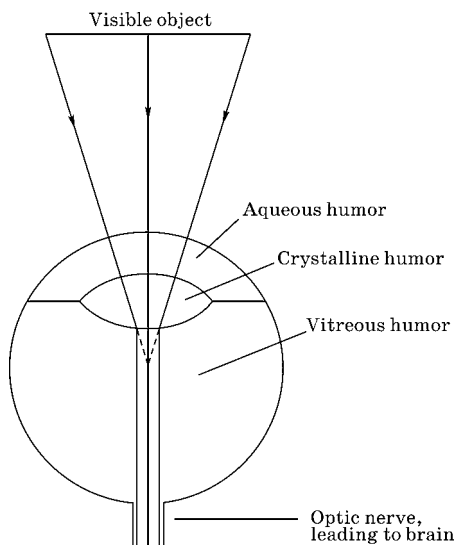


Рис. 10.5
Визуальный конус и глаз
в интрамиссионной модели Альхазена

поверхности становится центром лучей, расходящихся во все стороны через окружающую прозрачную среду. На этом основании Альхазен кардинально преобразует птолемеевский конус зрительных лучей, испускаемых из глаза, в конус световых или цветовых лучей, попадающих в зрачок снаружи. Используя эти представления, арабский оптик отделяет физическую причину зрения от ее субъективных последствий и трактует световое излучение как объективный феномен [336]. Таким образом, Альхазен расчистил путь для исследования природы света и закономерностей его распространения в рамках физической оптики, появления которой нужно было ждать еще более шести столетий.

10.3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ «СОКРОВИЩА ОПТИКИ»

Труд «Китаб аль-Маназир», или, как мы его называем теперь, «Сокровище оптики», впервые переведенный на латынь около 1200 г., был распространен в Европе в рукописном варианте с XIII в. Альхазен написал его в 1030-х гг. в семи книгах: три первые книги посвящены разбору зрительного восприятия, следующие три — анализу отражений и последняя — изучению преломления [223]. Трактат повлиял на работы Вителло, Бэкона и Пеккама, а также на труды Кеплера и Ньютона [332], [375].



Следует сказать несколько слов о первом печатном издании (рис. 10.6), подготовленном Фридрихом Риснером, выдающимся математиком XVI в. Оно вышло в Базеле в 1572 г. под длинным названием «Сокровищница оптических знаний. Семь книг Альхазена Араба, сейчас впервые изданных. Также десять книг Вителлона Тюринго-Поляка. Все книги заново переработаны, иллюстрированы рисунками и улучшены с добавленными также Фредериком Риснером комментариями к Альхазену» [284]. Риснер решил перевести и собрать вместе всю сокровищницу оптических знаний (*opticae thesaurus*), объединив под одной обложкой два фундаментальных средневековых труда — трактат Альхазена и «Перспективу» Вителло. На первом месте издатель поместил произведение Альхазена, которое занимало 282 страницы, из-за чего название «Сокровище оптики» и закрепилось за трактатом арабского ученого. Издание Риснера, сделав эти труды достоянием научного сообщества, сыграло огромную роль в дальнейшем развитии оптики, а его репринт 1972 г. является сегодня единственным доступным текстом трактата Альхазена.

Оптические теории Альхазена основывались на качественных законах и количественных правилах, выведенных на основе экспериментов с оптическими приборами, которые он разработал и изготовил. Ученый стремился охватить все оптические проблемы, устранить ошибки и свести к единому рассмотрению эффекты света и зрения. Для этого надо было увязать математические положения Евклида с аристотелевским анализом физического процесса и достижениями Галена в анатомии и физиологии. Теория была комплексной, чтобы удовлетворять критериям античных знаний и экспериментальным данным. Это было непросто, поскольку античные теории расходились по фундаментальным вопросам природы света и направленности его излучения.

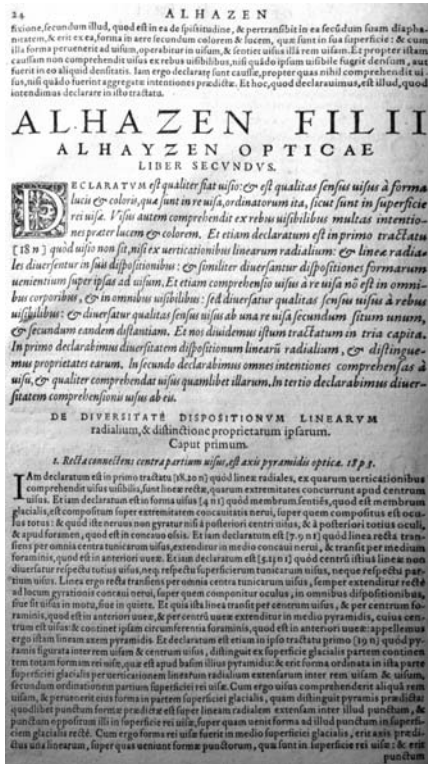


Рис. 10.6
Аннотация второй главы.
Страница латинского перевода
Китаб аль-Маназир.
Базельское издание. 1572 г.



Рис. 10.7
Памятная почтовая марка Пакистана,
посвященная задаче Альхазена

В «Сокровище оптики» подробно изложена теория зрения Альхазена, основанная на гипотезе аль-Кинди и представленная в понятиях геометрической оптики. Альхазен показал свои знания в области медицины и физики, начав с обсуждения анатомии и физиологии глаза. Он проследил за функционированием глаза от оптического нерва, соединяющего мозг и глазное яблоко, до всех его оболочек — конъюнктивы, радужки, роговицы и хруста-

Альхазен рассматривал свой труд как критический ответ на «Оптику» Птолемея. Он изменил ее центральное положение об испускании глазом зрительных флюксий, распространяющихся из точки зрачка коническим пучком. Лучи конуса были аналогами пальцев, которые простираются до внешних объектов и осуществляют визуальный контакт. Получаемая этими лучами информация отсылается назад по тому же конусу в виде цветовых восприятий. Достигая внешней оболочки глаза, они являются субъектом визуального наблюдения. Из них в конечном итоге получается внутренняя картина наблюдаемых объектов. Но для чего нужно излучение из глаз, когда для видения объектов достаточно, чтобы они излучали в глаз? Альхазен отверг зрительные лучи экстремисты по Птолемею и создал теорию визуальных восприятий на основе интрамиссии [342].

Альхазен, как и Птолемей, игнорирует в своем труде зажигательные зеркала и радугу. В катоптрике он идет дальше своего предшественника, добавляя к рассуждениям о плоских и сферических зеркалах рассмотрение цилиндрических и конических поверхностей. И в техническом отношении его построения отраженный глубже, чем у Птолемея. Самый яркий пример — формулировка в пятой книге «Сокровища оптики» так называемой задачи Альхазена о нахождении точки отражения на выпуклом или вогнутом зеркале (блестящей точки) при заданных положениях предмета и наблюдателя.

Одно из авторских построений задачи Альхазена даже попало на пакистанскую почтовую марку (рис. 10.7) [320].

лика, отметив роль каждой из них в процессе видения. Он показал связь между частями глаза и то, как он действует в качестве единого органа и диоптрической системы [223], [342]. Не обошел вниманием Альхазен и вопрос о видении двумя глазами, в частности о том, как два отдельных отпечатка, получаемых правым и левым глазом, сливаются в единый образ предмета. По традиции основным в этом механизме считается перекрест оптических нервов, или хиазм (рис. 10.8).

Реформа потребовала ухода от старых и формулирования новых терминов. Альхазен отменил возможные варианты доктрины зрительного луча, чтобы принять сторону приверженцев проникновения форм видимого мира. Между ним и философами, например Авиценной, можно отметить существенную разницу в подходе: Альхазен рассматривает формы, воспринимаемые глазом, как совокупности, приводимые к образующим их элементам — из любой точки видимого мира исходит луч, направленный к глазу. Последний теперь не имеет души, представляя собой простой оптический инструмент. Вся проблема в том и состояла, чтобы объяснить, как глаз воспринимает окружающее пространство с помощью лучей, испускаемых из каждой точки видимого мира [343].

После краткого введения Альхазен две главы посвятил новой теории. Он определяет условия, при которых возможно видение, и условия распространения света. Они представлены как эмпирические понятия, выражающие результат регулируемого наблюдения или контролируемого опыта, и являются ограничением в теории видения при новом подходе в оптике. Видимый предмет должен светиться сам по себе или быть освещенным другим источником. Он должен находиться напротив глаза, чтобы от каждой его точки в глаз можно было провести прямую линию; среда, отделяющая такой предмет от глаза, должна быть прозрачной; видимый предмет должен быть непроницаемым; он должен обладать некоторым объемом, соотносящимся с остротой зрения. Как пишет Альхазен, это понятия, «без которых видение невозможно».

Среди условий видения важны следующие: свет существует независимо от видения и по отношению к нему является внешним; он распространяется не мгновенно и теряет интенсивность по мере удаления от источника. Свет от основного источника и от вторичного освещаемого объекта распространяется на тела, которые их окружают, проникает через прозрачные среды, освещает непрозрачные тела, которые, в свою очередь, излучают свет. Свет распространяется от любой точки светящегося или освещаемого объекта по прямым линиям в прозрачных средах и во всех направлениях. Эти виртуальные линии, по которым распространяется свет, образуют с ним лучи. Они могут

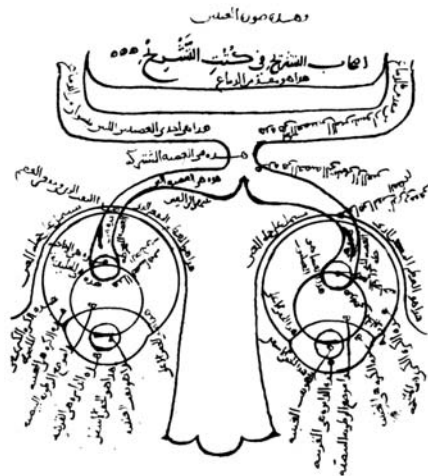


Рис. 10.8
Механизм видения по Альхазену.
Рисунок из *Китаб аль-Маназир*.
Манускрипт 1083 г.
Библиотека Стамбула

быть параллельными или пересекающимися, в каждом случае свет не смещается. Отраженный или преломленный свет распространяется по прямым линиям в других направлениях. Ни одно из этих понятий не отсылает нас к видению.

Далее Альхазен рассуждает о природе цвета. По его мнению, цвета существуют в непрозрачных телах независимо от света. Вследствие этого единственно свет, испускаемый телами, — вторичный или случайный свет — сопровождает цвета, которые распространяются согласно тем же законам, что и свет. В этом Альхазен сделал уступки философской традиции, которая вынудила его сохранить язык *форм*, освобожденных от содержания, так как он рассуждал лишь о свете. Теория отныне отвечает условиям видения и распространения света. Альхазен посвящает оставшуюся часть первой и две последующие книги разработке данной теории, где обращается к физиологии глаза и психологии восприятия.

Три книги «Сокровища оптики» — с четвертой по шестую — касаются катоптрики. Данная область, подробно изученная Птолемеем в его «Оптике», никогда еще не была объектом столь глубокого исследования. Помимо этих трех книг, Альхазен посвятил катоптрике и другие труды, касающиеся смежных проблем, например зажигательных зеркал. Он ввел физические понятия при изучении новых явлений и поставил новые вопросы.

В исследованиях по катоптрике Альхазен обращается к закону отражения и объясняет его с помощью механической модели. Он исследует его применительно к плоским, сферическим, цилиндрическим и коническим зеркалам. В каждом случае Альхазен обращает внимание на определение плоскости, касательной к поверхности зеркала в точке падения луча. Чтобы подтвердить результаты экспериментальным путем, он изготовил аппарат для изучения отражения по типу созданного Птолемеем. Альхазен также изучал образ предмета и его положение при использовании разных зеркал. Он поставил задачу, получившую впоследствии его имя, о нахождении блестящих точек на сферическом зеркале (для плоского зеркала решение тривиально) (см. цв. вкл., ил. 17) [322].

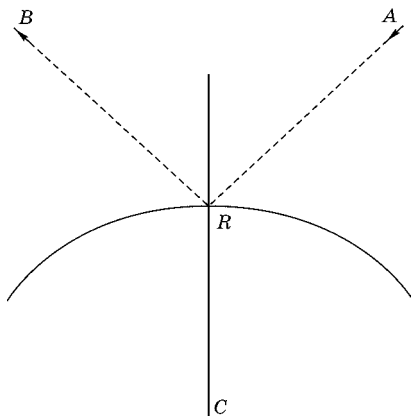


Рис. 10.9
Задача Альхазена

Каким образом можно определить на плоскости рассматриваемого нами зеркала такую точку, чтобы прямая, которая соединяет ее с одной из заданных точек, служила линией падающего луча, в то время как прямая, соединяющая эту точку с другой заданной точкой, служила линией отраженного луча (рис. 10.9)? Эта задача была решена Альхазеном. Предложенное им решение будет подробно проанализировано нами в четвертой части. Современное решение сводится к уравнению четвертой степени, которое в алгебраической форме было найдено Гюйгенсом. Эту задачу также называют бильярдной, так как она аналогична нахождению точки на криволи-

нейной стенке бильярда, в которую надо направить шар, чтобы он попал в заданную точку игрового поля.

Часть седьмой книги Альхазен посвятил исследованию изображения объекта при преломлении, в частности если поверхность раздела двух сред является плоской или сферической. Он остановился на сферическом зеркале и сферической линзе, развивая исследование Ибн Зала. Что касается зеркала, то Альхазен анализирует два варианта изображения, в зависимости от расположения точечного источника с вогнутой или выпуклой стороны сферической поверхности зеркала.

В заключение Альхазен рассматривает сферическую линзу и создаваемое ею изображение объекта. Он ограничивается случаем, когда глаз и объект находятся на одном и том же диаметре. Это напоминает исследование Ибн Залом двояковыпуклой гиперболической линзы. Альхазен отдельно рассматривает два диоптра на основе ранее полученных результатов и обращается к сферической аберрации в отношении точки, расположенной на конечном расстоянии.

10.4. СВЕТ И ЗРЕНИЕ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ АЛЬХАЗЕНА

Альхазен умел свести сложные вопросы к решению простых задач и подчинить переменные величины количественному анализу в контролируемых условиях. Этот подход проявился в экспериментах по изучению распространения света, для чего исследователь использовал темную комнату с отверстием. Пыль в воздухе визуализировала световой пучок, демонстрируя его прямолинейность. В пустой комнате источник света создавал световую точку на противоположной стене. Альхазен пришел к заключению, что свет перемещается прямолинейно, поскольку можно было ослабить или затенить световую точку лишь вдоль линии светового пучка: создание помех вдоль изогнутой траектории не давало эффекта [314].

Опыты проводились многократно, в различное время дня и ночи, при использовании разных источников света, расположенных на разном расстоянии от отверстия. С помощью трубы, закрепленной на деревянной линейке и имеющей изменяемое отверстие, Альхазен показал, что свет распространяется прямолинейно между видимым предметом и глазом. При уменьшении размера отверстия наблюдалось исчезновение частей предмета.

Для опытов по зрительному восприятию Альхазен изготовил ящик с отверстием в одной из стенок, перед которым поместил горящие свечи (рис. 10.10) [250]. Требовалось определить, будут ли смешиваться между собой лучи, проходящие через отверстие, подобно зрачку глаза. Если будут, то зрение не может состоять в попадании света в глаз и, значит, правы Евклид, Птолемей и их последователи. Если изображения не смешиваются, то мы видим потому, что световые лучи от каждой точки предмета попадают в глаз через зрачок и возбуждают в нем «чувствующий орган» [323].

Альхазен систематически рассмотрел прохождение света от каждой точки поверхности предмета вдоль всех воображаемых прямых линий, распространяющихся во всех направлениях, и установил, что именно так свет попадает в глаз. Чтобы определить, распространяется ли свет от всей поверхности

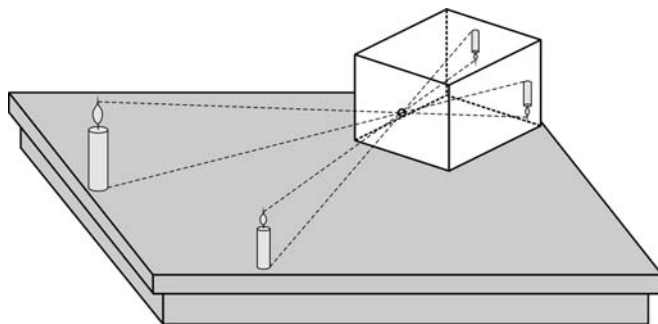


Рис. 10.10
Эксперимент Альхазена с камерой-обскурой
по проверке смешивания лучей

источника света, он использовал темные камеры и приборы, выполнявшие точные измерения. Так, масляная лампа с широким фитилем в качестве постоянного и интенсивного источника располагалась перед одним концом трубы. Напротив другого конца устанавливался экран. Когда источник света перемещали относительно трубы, световая точка, проецируемая на экран, оставалась неизменной. Когда размер отверстия трубы уменьшали, световая точка, уменьшенная и ослабленная, продолжала быть видимой. Это доказывало, что световые лучи исходят от всех частей фитиля и распространялись во всех направлениях [372].

Исследования Альхазена показали, что непроницаемые тела поглощают свет от внешних источников света. На гладких и полированных поверхностях свет отражается в направлении, которое можно предугадать по равенству углов падения и отражения. На неровных поверхностях свет рассеивается во всех направлениях от каждой точки по прямым лучам. Таким образом, «для того чтобы любой предмет был воспринят зрительно, он должен либо быть хорошо освещен, либо сам излучать свет». Даже прозрачные тела обладают некоторой непрозрачностью и, значит, могут быть видимыми. Альхазен разработал принцип, согласно которому мы видим предметы вследствие отражения и излучения света от их поверхности. Он лежит в основе теории о соответствии точек предмета и изображения.

Работы Альхазена стали первыми письменными источниками о наблюдениях изображений при прохождении света сквозь точечное отверстие в камере-обскуре. Античных трактатов не сохранилось, а легенды о наблюдениях с ее помощью Аристотелем и другими греческими философами солнечных затмений не имеют документального подтверждения. Альхазен в исследованиях по распространению света использовал приспособления, которые он называл «камерами с лучами»: темные комнаты с отверстиями, сквозь которые лучи света проецировались на стену или непрозрачную поверхность. Отверстия могли уменьшаться.

Исследование Альхазена совпадает с принципом действия камеры-обскуры. Размещая несколько свечей в горизонтальной плоскости напротив отверстия в темной комнате, он описывал появление световых пятен на противоположной стене, когда отверстие было минимального размера. Если пере-

крывалось пламя одной из свечей, исчезало только соответствующее этой свече пятно на стене напротив отверстия. Если открывалось закрываемое пламя, световое пятно возникало на том же месте. Альхазен показал, что четкие световые пятна появляются на стене в соответствии с числом свечей. Этот опыт не есть истинный пример принципа действия камеры-обскуры. Это версия комнаты с лучами, снабженной в качестве отверстия щелью, диаметр которой варьируется. Она была использована для доказательства, что световые лучи проходят сквозь отверстие по прямым линиям, не накладываясь друг на друга и не смешиваясь, даже если они пересекаются, не влияя на прозрачное воздушное пространство. Альхазен показал, что этот принцип пригоден ко всем прозрачным средам, включая прозрачные оболочки глаза.

Альхазен использовал не одну, а несколько свечей, создававших несколько источников света в пространстве, благодаря чему можно было точно определять как соответствие, так и инверсию проекции по отношению к горизонтальной оси. Было логично распространить это на другие оси. Данным опытом Альхазен определил принцип проецирования изображения сквозь точечное отверстие и распространил его результаты на формирование изображения в глазу. Проекция источников света сквозь щель изменяемого диаметра предоставляла Альхазену малые экспериментальные возможности, однако их было достаточно, чтобы он мог обосновать свою теорию: при точечном соответствии проекция света, отраженного от поверхности предмета, формирует изображение на экране. Это сравнение глаза с комнатой лучей привело к синтезу оптики и анатомии.

Вот как описывает Альхазен опыт, доказывающий, что лучи света не смешиваются при пересечении: «Если несколько свечей поместить перед одним отверстием в стене затемненного помещения, а напротив отверстия имеется другая стена, которая не пропускает света, то на ней появляются блики света от этих свечей, соответствующие их количеству, и каждый блик оказывается напротив одной свечи, проходя через отверстие по прямой. Если заслонить одну свечу, то исчезнет только свет напротив нее, а если затемнение будет убрано, свет появится. Этим за короткое время можно доказать, что если бы лучи света перемешивались в воздухе, то они смешивались бы и в отверстии и так же перемешивались, выходя из него, после чего уже не разделялись. Мы этого не обнаруживаем. Таким образом, лучи света не перемешиваются, каждый луч проецируется по прямой линии, и эти линии одинаковой длины, до самих предметов и до расположения противоположных проекций. Каждое отражение света проецируется вдоль этих линий и может быть продлено. Они не смешиваются в воздухе и только проходят сквозь него; воздух не подвергается их воздействию и не теряет присущего ему прозрачного состояния. То, что мы сказали о свете, цвете и воздухе, должно быть отнесено и ко всем прозрачным предметам и поверхностям» [284].

Тем самым Альхазен окончательно опроверг теорию зрительных лучей. Методику его экспериментов можно рассматривать как первое практическое применение камеры-обскуры. Основываясь на болевых ощущениях при воздействии на глаз солнечного света, он подтвердил свой постулат, что зрительный образ получается с помощью лучей, испускаемых видимыми телами и попадающих в глаз. Альхазен правильно установил соответствие между

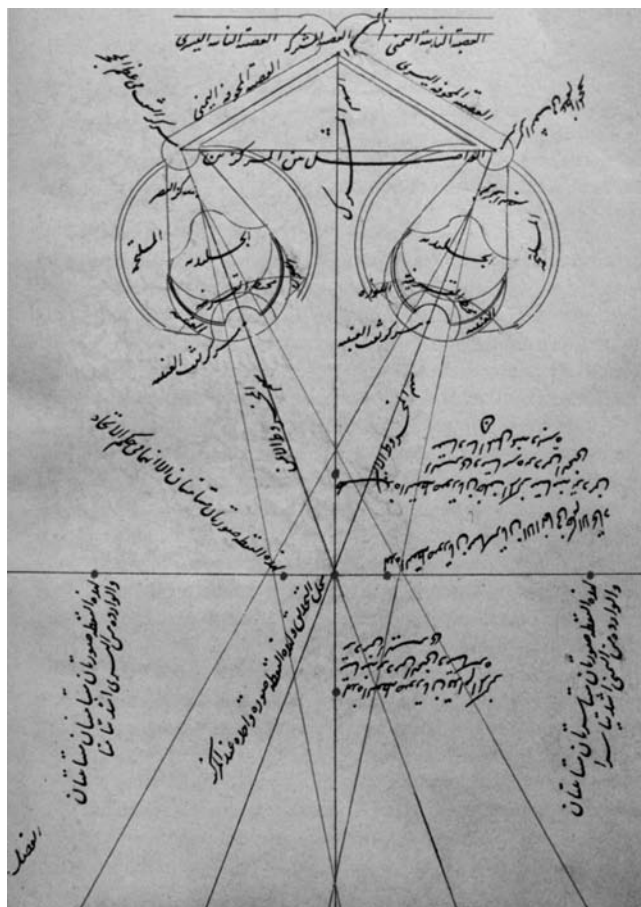


Рис. 10.11
Биноклярное зрение по Альхазену

точками предмета и изображения. Он полагал, что единое видение двумя глазами обеспечивается общим зрительным нервом (рис. 10.11). С этой точки зрения глаз превращался в простое оптическое устройство. Однако и Альхазен заблуждался, считая светочувствительным элементом глаза хрусталик, хотя знал, что хрусталик прозрачен.

10.5. МЕХАНИЗМ ЗРЕНИЯ ПО АЛЬХАЗЕНУ

Опыт изучения послеобразов (сохранение образов рассматриваемых ярких предметов после закрывания глаз) привел Альхазена к мысли о попадании лучей от рассматриваемого объекта в глаз наблюдателя. Аристотель, по его мнению, более всех приблизился к пониманию того, что видимые объекты посылают свои *формы*, как их назвал арабский мыслитель, через прозрачные среды в глаз. Но теория Аристотеля была лишена математического содержания. Экстремисты ввели понятие конуса прямолинейных зрительных лучей, придавшее теории геометрическую основу. Объекты преры-

вали лучи, находившиеся в некой части этого конуса, что определяло месторасположение объектов. Объединив математические достижения Евклида и аристотелевское понимание излучения, Альхазен ввел в теорию интрамиссии *визуальный конус* [248]. Для этого надо было изменить направление лучей, формирующих визуальный конус, по одному лучу из каждой точки поверхности видимого объекта. Но поточечный анализ излучающих объектов, который провел аль-Кинди и с которым был согласен Альхазен, показал, что лучи из каждой точки распространяются во множестве по всем направлениям и каждая точка чувствительного элемента глаза получает излучение от каждой точки объекта. Если поле зрения содержит несколько объектов различных цветов, то излучение от каждой их точки будет получено в каждой точке поверхности хрусталика, что приведет к хаосу. Как может быть, чтобы мы одновременно воспринимали мечеть в центре поля зрения, пальму справа от нее и верблюда слева и чтобы все предметы воспринимались и располагались правильно? Визуальное восприятие происходит по точкам в соответствии с расположением точек поля зрения и глаза. Надо было объединить зрительный конус Евклида с теорией аль-Кинди, следуя интрамиссионной гипотезе.

Альхазен преодолел это противоречие привлечением явления рефракции [319]. Хотя из каждой точки объекта во все стороны излучается бесконечное множество лучей, только один из них падает перпендикулярно на роговую оболочку глаза и переднюю поверхность хрусталика. И только этот единственный луч проходит без преломления и прямолинейно. Прочие лучи ослабевают за счет рефракции, и обычное зрение (за исключением периферийного) обеспечивается перпендикулярными и прямолинейными лучами. Имеется только один такой луч для любой точки объекта, и семейство таких лучей формирует конус с основанием на видимом объекте AD и вершиной в центре глаза C (рис. 10.12). Дугообразная линия FG на поверхности хрусталика и есть воспринятый глазом образ объекта AD . Альхазен создал визуальный конус и обосновал поточечное соответствие внутри интрамиссионной теории. С визуальным конусом восстановились все математические возможности, предоставляемые моделью Евклида.

Альхазен перенес обсуждение природы излучаемого света и цвета на аристотелевские линии. Он ввел анатомические аспекты глаза в теорию видения, проведя лучи через глаз и оптический нерв к перекресту, где расположены нервы обоих глаз. Так были использованы результаты изучения изображений, формируемых отражательными и прелом-

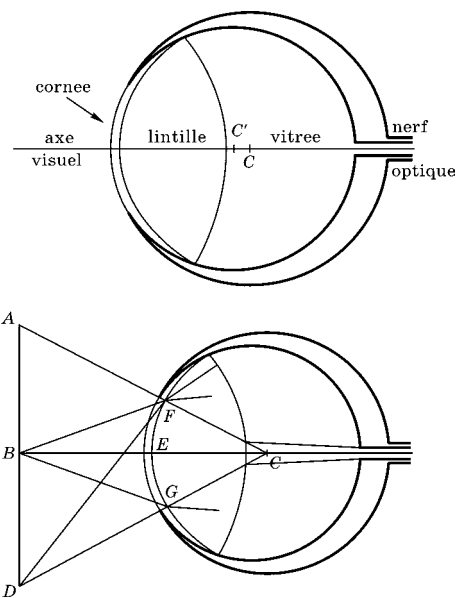


Рис. 10.12
Формирование образа внешнего предмета на поверхности хрусталика по Альхазену

ляющими поверхностями сферической, параболической, конической и цилиндрической формы. Этот подход европейская оптика не превзошла до XVII в.

В анализе зрительных восприятий на основе физических излучений через чувства к осознанным образам Альхазен следовал Птолемию. В отличие от великого грека, он использовал детали из анатомии и физиологии глаза, основанные на представлении Галена о зрительных ощущениях, возникающих в хрусталике, а не в роговице [340]. Он сказал свое слово в дебатах между сторонниками «зрительного пламени» и «подобий», отвергая теории первых. Его аргументами стали два явления: расширение глазного зрачка и ослепление светом. Если наблюдателю мешает свет, когда он глядит на солнце, то это происходит потому, что глаз не излучает никакого зрительного потока. В противном случае наблюдатель мог бы контролировать посылаемый поток, и у него не было бы никаких причин страдать, глядя больше на один объект, чем на другой. Глаз остается пассивным и чувствительным к внешнему фактору, воздействие которого он может регулировать. Эту убежденность Альхазен черпает из анатомических описаний глаза, которым посвятил главу трактата. Роль каждой части глаза становится ясной, а зрачок предстает как небольшое отверстие, которое может увеличиваться или сужаться под воздействием внешних факторов [248].

Первый этап его теории заключается в доказательстве, что любой освещенный предмет ведет себя как источник света и отражает падающий свет во всех направлениях. Для этого Альхазен обратился к эксперименту: «Если цветной предмет помещен на солнечный свет рядом с другим предметом белого цвета, помещенным в затененную зону, тогда цвет первого объекта появится на поверхности второго». Он дал этому следующее объяснение: «Светящееся тело (назовем его первичным) порождает дополнительный свет на поверхности цветного объекта, из которого исходит вторичный свет, который окрасил белый объект, помещенный в затененную зону». Данное явление не очевидно. В действительности вторичный свет, который отражает-

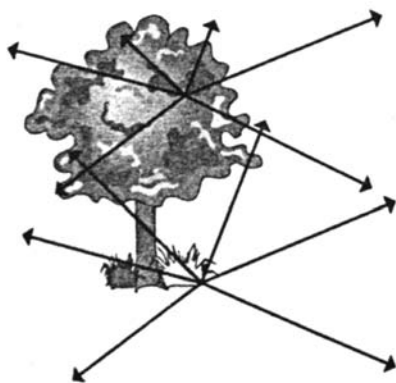


Рис. 10.13
Дерево рассматривается как совокупность светящихся точек, из которых исходит вторичный свет (изображены только две точки)

ся предметами, является невидимым и не производит никакого ощутимого эффекта. Предположив, что освещенные предметы ведут себя как источники света, Альхазен сделал важный шаг вперед. Используя геометрическую модель, он проанализировал распространение света для случаев излучения освещенными объектами. Предлагалось разложить любой источник света на мельчайшие светящиеся точки, из которых исходит первичный или вторичный свет (рис. 10.13). Дерево, освещенное солнцем, рассматривалось Альхазеном как совокупность мельчайших светящихся точек, из которых исходит вторичный свет (на рисунке изображены только две точки и первичный свет не представлен). Путем экспери-

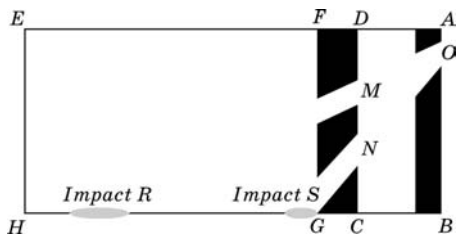


Рис. 10.14

Схема эксперимента Альхазена по изучению прямолинейности распространения света

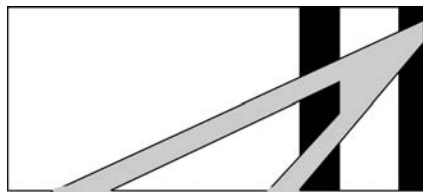


Рис. 10.15

Схема, подтверждающая прямолинейность распространения лучей света

ментов, выполненных в темной комнате с отверстиями, он доказал, что свет распространяется по прямым линиям. Комната $ABCD$ освещена солнцем через круглое отверстие O (рис. 10.14). Эта комната отделена от второй комнаты $EFGH$ толстой стеной, в которой имеются два отверстия M и N . Два пучка света R и S появляются в комнате $EFGH$. Форма и расположение светящихся пучков могут объясняться только тем фактом, что создающий их первичный свет распространяется по прямой линии, начиная с отверстия O (рис. 10.15). Образование пучков света объясняется тем, что путь солнечного света может быть представлен прямыми линиями.

Остается показать, что видение происходит, когда глаз получает вторичный свет, излучаемый освещенными предметами. Каким бы парадоксальным это ни казалось, явление ослепления светом стало отправной точкой для теории Альхазена. Если свет ослепляет глаз, это значит, что он оказывает на него воздействие: «Мы заметили, что когда глаз фиксирует интенсивный свет, он раздражается. Когда наблюдатель поворачивается к солнцу, ему невозможно смотреть на него пристально, поскольку свет, исходящий от солнца, причиняет ему боль. Все это указывает на то, что свет оказывает воздействие на глаз». Чтобы показать, что свет является раздражителем, Альхазен рассуждает о целостности и интенсивности света, отражаемого освещенными предметами в направлении глаза. Он отмечает, что ослепление светом вызывает резкую и продолжительную боль. Напротив, во время обычного видения не ощущается дискомфорта. Можно предположить, что свет не достигает глаз и остается на освещенных предметах. Однако, по мнению Альхазена, это не так. Предметы непрерывно отражают свет, который на них падает, и не существует причины, по которой полученный свет оставался бы на предметах. Единственное, что меняется, — это интенсивность. Слишком яркий свет ослепляет. Свет в меньшем количестве может безболезненно попадать в глаз.

Прямолинейное распространение света, разложение освещенных предметов на совокупность светящихся точек, количественная характеристика света — на нескольких страницах Альхазен создал систему революционных принципов, отличных от общепринятой точки зрения, с приведением аргументов, полученных опытным путем. Исходя из них, он изложил оптическую модель видения: «Освещенные предметы излучают во всех направлениях свет в виде пучка света с их поверхности. Если глаз находится напротив

освещенного предмета, он расположен на пути света, исходящего от предмета. Так как свет воздействует на зрение, а глазу присуща чувствительность к свету, то видение осуществляется благодаря свету, исходящему от предмета и достигающему глаза».

10.6. ДИОПТРИКА И КАТОПТРИКА АЛЬХАЗЕНА

Разработка теории видения и принципов распространения света стала главным достижением Альхазена, но он решил и много других оптических проблем.

Заслуга Альхазена в изучении преломления света состоит в том, что он считал падение света на поверхность тела аналогичным механическому удару и изучал механические законы при падении тел на поверхность. Он описал увеличительную способность плосковыпуклой линзы для случая, когда линза помещается плоской стороной на предмет, и обнаружил сферическую aberrацию. Альхазен объяснял преломление плоской или искривленной поверхностью, основываясь на том, что скорость света определяется плотностью среды, которую он проходит. Он принимал в расчет две его составляющие: вертикальную, перпендикулярную поверхности раздела среды, с постоянной скоростью, и горизонтальную, параллельную поверхности, с изменяющейся скоростью. Скорость света уменьшается, переходя из среды менее разреженной в более плотную (из воздуха в воду). Альхазен применил этот принцип для объяснения преломления на прозрачных поверхностях глаза [280].

Результаты изучения преломления света Альхазен использовал в астрономии для определения высоты атмосферы. Он также описывал явления солнечного затмения, радуги и гало.

Деятельность Альхазена была ограничена традициями исламского мира, поэтому его философские воззрения не позволяли в экспериментах с физическим светом забывать о Божественном свете Аллаха, нисходящем с небес на землю. Его объяснения света на утренней и вечерней заре, когда солнце находится за горизонтом, стали в латинском переводе классическими и цитировались на протяжении столетий. Он оценил (в приближении постоянной плотности) толщину атмосферы, ее влияние на видимые звездные координаты, на начало и окончание светового дня, определяемые по расположению солнца под горизонтом на 19° . Альхазен объяснял кажущееся увеличение диаметров Солнца и Луны в пригоризонтных положениях эффектом атмосферной рефракции.

Исследования по катоптрике, изложенные в «Сокровище оптики», Альхазен продолжил и в других трудах. Например, в «Сферических зажигательных зеркалах» он описывает продольную сферическую aberrацию, а в трактате «Пылающая сфера» уточняет результаты, касающиеся сферической линзы, которые были получены в «Сокровище оптики». Альхазен возвращается к вопросу воспламенения при использовании этой линзы. В трактате приведено первое исследование сферической aberrации, касающееся параллельных лучей, падающих на стеклянную сферу и испытывающих двойное преломление. Альхазен использовал численные данные «Оптики» Птолемея

в отношении двух углов падения — 40 и 50°. Для объяснения фокусировки света, идущего по параллельным траекториям на расстоянии диаметра сферы, он обратился к угловым значениям, не дающим эффективного решения.

В трактате «Пылающая сфера», как и в седьмой книге «Сокровища оптики» и трудах по диоптрике, Альхазен уделяет большое внимание изобретению, демонстрации и описанию устройств, изысканных для своего времени, позволявших определить численные значения, избегая их приводить. Если это случается, как в трактате «Пылающая сфера», то он делает это крайне осторожно, что связано с научным стилем эпохи: количественное описание тогда не представлялось обязательной нормой. К тому же измерительные приборы позволяли получать лишь приблизительные значения. На этом основании Альхазен принимал во внимание данные из «Оптики» Птолемея.

Исследования Альхазеном световых изображений лежат в основе его гипотез о строении глаза и зрительном восприятии. До него изображения ассоциировались с зеркалами и другими гладкими поверхностями, включая элементы структуры глаза. Объяснение им давалось в рамках преломления видимых лучей, либо все объяснялось присутствием копий предметов. Высказывая точку зрения о том, что видимое изображение — это организация точек поверхности светящихся тел, Альхазен изменил научный подход, согласно которому процесс видения воспринимался как качественный процесс. Его представление о видимых лучах, проецируемых от каждой точки поверхности предмета в соответствующую точку экрана, позволяло дать простое объяснение процессу формирования изображения.

Передовые идеи Альхазена отметили начало новой эры для оптики. Его сочинения, известные в Европе с XIII в., привели к возникновению особой науки *Перспективы* и оказали влияние на работы европейских ученых XIV–XV вв. В XVII в. Кеплер опирался на его принципы в разработке теории формирования изображения на сетчатке глаза.



Здесь уместно упомянуть о полемике между признанными авторитетами в истории науки — Марком Смитом и Дэвидом Линдбергом — о роли теории зрения Альхазена в развитии оптики. Линдберг в своей «Теории видения от аль-Кинди до Кеплера» [252] утверждает, что Кеплер «атакует проблему зрения с большим умением и искусством», но делает это, не покидая критериев зрительной теории, основанной Альхазеном в XI в. Если считать Кеплера открывателем того пути, который впоследствии привел к современному пониманию оптики [157], [158], то следует отдать должное и средневековым ее достижениям, поскольку путь от Альхазена к Кеплеру был не революционным, а эволюционным. Линдберг доказывает, что оба ученых основывали свои взгляды на зрение на схожих теоретических и методологических позициях. Оба придерживались основной модели поточечной световой радиации и одинаковой процедуры построения лучей, прямо следующей из логики этой модели. То, что оба достигли различных результатов, есть следствие большей строгости построений Кеплера. В свою очередь Смит считает, что этот вывод «основывается на проблематичном допущении» о том, что, как и ученые XVII столетия, Альхазен и его средневековые последователи в основном имели дело с «физикой света» и исходили непосредственно из связанных с этим положений [341], [342]. Смит замечает, что Альхазен и западные перспективисты «более продвинулись в распознавании

природы зрения, чем в понимании света». Неоспоримая связь между Альхазеном и Кеплером, по его мнению, имеется скорее «на процедурном, нежели на концептуальном уровне» [343].

Представляется справедливым утверждать вслед за Линдбергом, что, разделяя общие аналитические принципы, оба ученых «оперировали внутри единого концептуального пространства».

10.7. АРАБСКАЯ ОПТИКА ПОСЛЕ АЛЬХАЗЕНА

Взлет исламской научной мысли IX–XI вв. сменился менее плодотворным периодом, когда научные изыскания, распространяясь в среде образованных мусульман, проникали в сферу обучения и в общекультурный контекст. Примером такого влияния явилась дискуссия между Авиценной и Бируни о скорости света. Оба мудреца сходились во мнении, что свет распространяется не мгновенно, но их количественные оценки расходились.

Интересен трактат Бируни «Тени», где описаны смена дня и ночи, свет и тьма, изменения тени при изменении положения источника света, форма снопа лучей, проникающих в темное помещение через круглое отверстие (как в камере-обскуре) [6]. В этих опытах он фактически изучал дифракцию света с позиций геометрической оптики. Бируни впервые на Среднем Востоке высказал мысль, что Земля вращается вокруг Солнца. Проводя наблюдения Солнца во время затмений, он изложил гипотезы о структуре солнечной короны. Он построил самый большой квадрант (7,5 м), предложил метод определения радиуса Земли, обнаружил зодиакальный свет.

В период с XI по XIII в. в арабском мире создавались произведения, развивавшие идеи аль-Кинди, Ибн Зала и Альхазена. Книга Ибн Зала «Об инструментах, вызывающих воспламенение» была повторена аль-Гунджани. Он же написал комментарий к труду Абу-ль-Вафы о зажигательном параболическом зеркале. В середине XII в. судья из Багдада аль-Мурахим изучал работы Альхазена и Ибн Зала о прозрачности небесной сферы. Следует указать и произведения в сфере образования, например учебник Насира ад-Дина ат-Туси с комментариями к Евклиду, Птолемею и Альхазену. Ат-Туси написал труд о радуге, попытавшись объяснить это явление [297]. До него сделать это безуспешно пытались Аристотель и Сенека. Ат-Туси использовал оптические методы Альхазена по исследованию отражения и преломления при появлении радуги. Он искал решение в комбинации отражения и преломления световых лучей в водяных каплях.

В XIII в. возник интерес к оптике, частично обусловленный появлением в Персии философской школы иллюминаторов, развивавших учение о всепроникающем свете. Аш-Ширази из Мараги, последователь ат-Туси, дискутировал с Альхазеном в трактате «Ограничение представлений, относящихся к знаниям о небесах».

Ученик ат-Туси и аш-Ширази, ученый из Марагинской обсерватории Камаль ад-Дин аль-Фариси (1267–1319) написал комментарий к оптическим работам Альхазена — «Пересмотр оптики» (см. цв. вкл., ил. 18). Он следовал идеям учителей и проводил новые эксперименты: размещал сферические стекла в темной комнате и изучал прохождение через сферы лучей, попадающих в комнату через небольшое отверстие.

«Пересмотр оптики» аль-Фариси содержал обширный комментарий с объяснениями теории зрения Альхазена, при этом автор высказывал критические замечания. Так же он поступил и с другими его трактатами, в частности с «Пылающей сферой» и «Радугой». В этих трудах аль-Фариси следовал идеям Альхазена, иногда достигая успеха там, где потерпел поражение предшественник. Например, в комментарии к «Пылающей сфере» аль-Фариси объясняет явление радуги. Он отказывается от прямого исследования этого явления: стеклянная сфера, наполненная водой, служит моделью капельки воды в атмосфере. Математически подтвержденная аналогия позволила аль-Фариси начать с исследования двух преломлений, одного или двух отражений внутри сферы, чтобы объяснить изображение основной и второстепенной дуг, а также различный порядок цветов в них.

Его анализ явления радуги опроверг мнение Аристотеля, что одно отражение может сформировать радугу. Он обнаружил, что первичная радуга образуется за счет двух преломлений и одного отражения, а вторичная — за счет двух преломлений и двух отражений. Под влиянием Авиценны, считавшего, что радуга есть результат индивидуальных отражений солнечных лучей от капель влаги в облаках, и экспериментов Альхазена над зажигательными сферами аль-Фариси использовал сосуды с водой для моделирования капель, на которые падали солнечные лучи. Входя в наполненные водой сферы, лучи сначала преломлялись, испытывали полное отражение на их задних стенках, которые направляли их назад к наблюдателю, и, наконец, вторично преломлялись на выходе из сфер. Если это происходило в каждой капле, то создавался эффект радуги. Два внутренних отражения, как заключил аль-Фариси, могли сформировать вторичную радугу. Локализация и обособление цветовых полос радуги определялись угловыми соотношениями между солнцем, наблюдателем и дождевыми каплями. Иногда утверждают, что истинным создателем этой теории был аш-Ширази, учитель аль-Фариси [138], [231].

В объяснении цветов радуги аль-Фариси был вынужден частично изменить доктрину Альхазена. В ходе эксперимента в темной комнате он отметил, что множественность цветов зависит от положения изображений и их световой насыщенности. По его мнению, цвета радуги зависят от сочетания отражения и преломления: «Цвета дуги радуги различаются между собой, они сближены между голубым, зеленым, желтым и черновато-красным и происходят от изображения источника сильного света, достигающего глаза путем отражения и преломления, или двумя процессами». Со времен Альхазена был пройден большой путь, показавший отсутствие в непрозрачных телах цвета отдельно от света.

Только в позднем Средневековье Дитрих Фрейбергский применил открытия Альхазена к проблеме радуги и сделал те же выводы, что и аль-Фариси. Объяснение явления радуги стало непременной частью метеорологического знания после публикации трудов Рене Декарта в XVII в. [138], [300].

Аль-Фариси продолжил исследования роли падающих лучей в формировании изображения внутри глаза. Он показал, что изображение в зрачке, создаваемое хрусталиком, — это изображение, отраженное поверхностью роговицы и сопровождаемое более слабым изображением, отраженным от

поверхности хрусталика. Он исследовал изображение, появляющееся на поверхности хрусталика только что убитого барана. Его труды, касающиеся формирования изображения, бинокулярного зрения и других областей физиологической оптики, еще ждут своих исследователей.

Вслед за трудом аль-Фариси появилась книга астронома Таки ад-Дина ибн Маруфа. Он вкратце изложил книгу аль-Фариси, не внося ничего нового.

В медицинской традиции наиболее популярными в XII–XIII вв. текстами по чувственному восприятию были трактаты Авиценны «Физика» (рис. 10.16) и «О душе», вошедшие в университетские курсы Европы в переводе Гундиссалина. В них Авиценна уделил много внимания объяснению античных гипотез, в которых зрение рассматривалось как результат эмиссии лучей или духа из глаз. Он анализировал три гипотезы об установлении контакта между объектом и наблюдателем. Первая признавала эмиссию из зрачка светоподобных лучей, которые достигают предметов. Это был подход Евклида. Вторая гипотеза (Галена) также включала в себя излучение из глаз, но иного рода. Авиценна подчеркивал эту разницу и делал упор на то, что у Галена до предметов доходят не зрительные лучи, а окружающий воздух, измененный зрительным духом наблюдателя. Третьей гипотезой, с которой Авиценна соглашался, была аристотелевская интрамиссия [362]. Это контрастировало с его недостаточным вниманием к механизмам зрения в «Каноне», объяснение которых он считал задачей философов, а не медиков.

Критицизм, с которым Авиценна выступил против зрительной теории Галена, был адресован не экстрамиссии зрительного духа вообще, а трансформации воздуха этим духом. Авиценна, как защитник среды — посредника чувственного восприятия, отвергал любую возможность такой трансформации, основу всей галеновской интерпретации. Критика велась Авиценной с позиций Аристотеля, развитых в трудах «О душе», «О чувственном восприятии» и «О животных». Из аристотелевских работ ученые XIII в. должны были

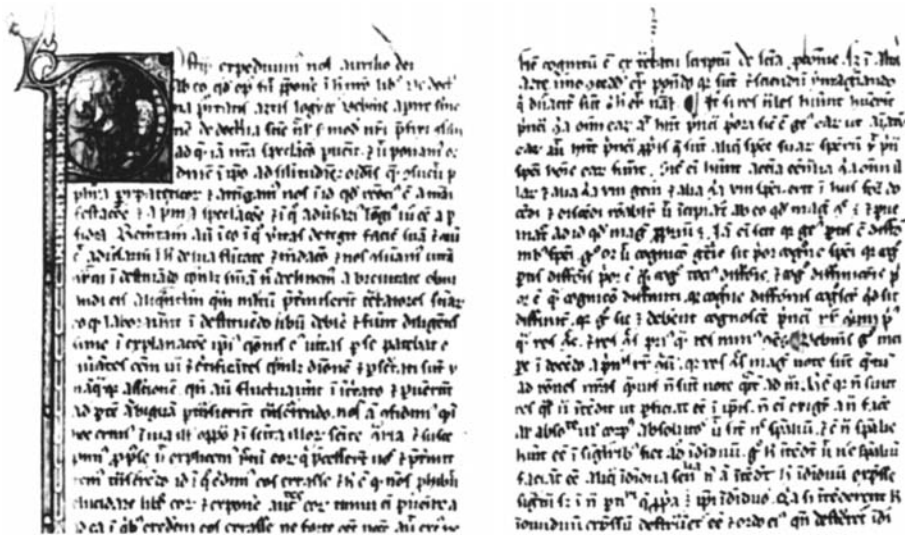


Рис. 10.16
Начало трактата Авиценны «Физика». Библиотека Граца

понять, что первым шагом в цепочке восприятия является объект — активный элемент, производящий через среду определенные изменения в чувствующем органе — пассивном элементе. В этом подходе для осуществления видения необходимо, чтобы визуальный объект или его цвет воздействовали на прозрачную среду, а та передавала эти воздействия глазу и через него — мозгу [155].

Модели Аристотеля и Альхазена, обогащенные Авиценной, изучались студентами европейских университетов (факультетов искусств и медицины) с конца XIII в. Роль наблюдателя в этих моделях была пассивной, роль объекта — активной, требовалась промежуточная среда. В модели добавлялись и некоторые галеновские и неоплатонические детали.

Авиценна утверждал, что зрение осуществляется воздействием образов объекта на воздух и далее — на глаз. В глазу видимые образы переносятся к хрусталику, месту расположения зрительной силы. Оттуда по зрительному нерву зримые образы передаются посредством визуального духа общему чувству (рис. 10.17). На самом деле никаких анатомических деталей зримых образов в оригинальных работах Аристотеля никогда не приводилось [118].

Соотношение между светом, анатомией глаза и видением, установленное Альхазеном, было воспроизведено Авиценной и использовано для опровержения тактильных теорий, вне зависимости от того, представлялись они в плоских или в трехмерных версиях. Авиценна соединил разнообразие аргументов в многочисленных работах, особенно в своем энциклопедическом труде «Книга исцеления» и его сокращенной версии «Книга спасения». Он доказывал абсурдность идеи испускания луча глазом в направлении предмета и отсутствие связи этой идеи с повседневным опытом, а также с самой геометрией зрительного конуса в анализе восприятия размера и удаленности предметов.

По Авиценне, если контакт с видимыми предметами устанавливается в основании зрительного конуса, то из этого следует, что вместе с видимыми свойствами их величина будет сообщена вне связи с удаленностью, поэтому законы перспективы не могут применяться. Восприятие видимого размера было для него определено удаленностью по отношению к углу вершины зрительного конуса в глазу. Чем дальше находился предмет, тем меньше был угол и тем меньше была зона, занятая формой предмета на поверхности хрусталика. Следовательно, геометрия зрительного конуса имела смысл,

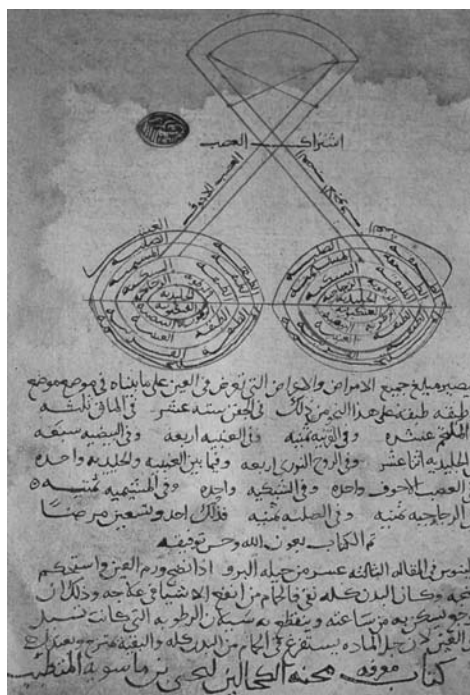


Рис. 10.17
Представления Авиценны
об анатомии глаза и его связи с мозгом

если она рассматривала как отправную точку видимый предмет, а не глаз. Авиценна пояснял, что один и тот же предмет, находящийся перед глазом, образует все меньший и меньший угол по мере его удаления от глаза и воспринимается меньшим. В действительности угол иногда настолько мал, что предмет не может восприниматься, даже если он по-прежнему находится в контакте с основанием конуса и луч зрительного восприятия может его касаться.

Опровержения Авиценной теорий луча зрения и пневмы замечательны не столько оригинальностью (большинство их постулатов можно найти, начиная с работ Аристотеля вплоть до поздней Античности), сколько количеством, разнообразием и диапазоном развернутых аргументов, а также их убедительностью.

Собственная концепция Авиценны о зрительном восприятии представляет собой учение об ощущении, рассматриваемом как влияние формы предметов на соответствующий орган чувств. Он определяет условия видения: когда свет встречает предмет зрительного восприятия (цветное тело), которое отделено от глаза прозрачной средой (не цветной), форма этого предмета передается зрачку, где запечатлевается на поверхности хрусталика. Он доказывает интрамиссию, основываясь на анатомии глаза: «Если бы эта точка зрения не была правильной, было бы бесполезным то, что глаз создан с различными оболочками и жидкостями, а также с их формой и строением». Из описания анатомии глаза в «Каноне» следует, что акцент сделан, как и в работах ар-Рази, на роли света. С одной стороны, свет должен беспрепятственно достигать хрусталика, что объясняет прозрачность водянистой влаги и ее чрезвычайно тонкой передней мембраны. С другой стороны, хрусталик расположен в центре глазного яблока для защиты от излишка света. Таким образом, прозрачность различных оболочек глаза, сходная с прозрачностью среды, располагающейся между предметом и глазом, просто позволяет свету моментально передать хрусталику посредством цвета видимые свойства непрозрачных предметов. То, что воспринимается, вновь остается количественным и неделимым. Теория ощущений различает внутренние и внешние чувства. Форма видения находит объяснение в участии внутренних чувств в мозге.

Авиценна обошелся в своих опровержениях без образа трости слепого, наоборот, он укрепил идею, что свет непосредственно доставляет визуальную информацию в глаз, хотя и не дал объяснений относительно способа, которым это производится. Авиценна исключал механическую аналогию отклонения в отношении света. Его критерии отражения являются показательными: если бы свет отражался отскоком, как отскакивает мяч, он отражался бы от всех непроницаемых поверхностей, даже если бы они не были гладкими, что с точки зрения Авиценны нелогично. Его рассуждения обнаруживают тактическую изобретательность, проявившуюся в переформулировании проблем, при этом он не дает эффективных решений. Доказывая, что некоторые теории являются неадекватными, он приспособливал их элементы, мастерски их используя. Следствием явилось энциклопедически богатое произведение, соединяющее в своем эклектизме концепцию Аристотеля о формах в ощущении, анатомию глаза и его связей с мозгом по Галену,



Рис. 10.18
Представление Авиценны
о видении двумя глазами

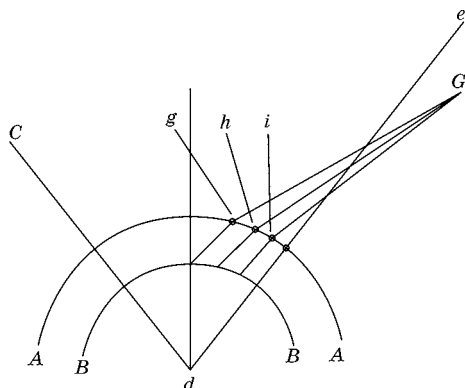


Рис. 10.19
Принцип фильтра: глаз воспринимает
лишь перпендикулярные лучи,
формирующие визуальный конус [322]

особенности видения двумя глазами (рис. 10.18). Учитывались также роль хрусталика в зрительном восприятии, понятие света как качественного движения светящегося предмета в направлении глаза и, наконец, геометрический анализ зрительного конуса.

Авиценна не ссылается на вполне конкретные геометрические соображения, высказанные Альхазеном относительно визуального конуса. Но из рассуждений, наполняющих «Физику» и «Книгу исцеления» Авиценны, следует, что он поддерживал интрамиссионную модель своего предшественника. На рисунке 10.19 приведена схема доказательства так называемого «принципа пространственного фильтра». Дуги $A-A$ и $B-B$ изображают внешние оболочки глаза наблюдателя. Предмет G не может восприниматься глазом в позициях g , h или i , поскольку рассеянный им свет падает на оболочки наклонно, не по нормали. Доказывается, что предмет G может быть виден только справа от радиальной линии de , поскольку наибольшую силу воздействия производят именно перпендикулярные лучи. Желающие подробнее ознакомиться со зрительным механизмом Альхазена — Авиценны и особенностями открытого ими «принципа фильтра», смогут найти детальное описание в частях 4 и 5 настоящего издания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление арабской оптики происходило в русле трех традиций, заложенных еще в греческий период. Первая восходила к Аристотелю, который пытался разобраться в физических процессах, составляющих механизм зрения. Вторая — математическая — была основана Евклидом и продолжена Птолемеем. Они направили свои усилия на геометрию зрения, практически игнорируя физическую составляющую в угоду анализу хода лучей. Наконец, третья — медицинская — традиция, была связана с античными моделями глаза и посвящалась детальным исследованиям анатомии глаза и оптического нерва.

Все это знание арабы восприняли от Античности как самостоятельные учения, конкурировавшие друг с другом, по-разному отвечавшие на одни и те же вопросы и объяснявшие одни и те же явления. Это стало возможным благодаря длительному и сложному процессу переводов греческой научной классики и важнейших оптических работ. Три столетия наблюдался расцвет исламской оптики, основанной на античном фундаменте.

Арабские переводы греческих текстов по оптике (IX–X вв.) граничат по времени с первыми научными работами арабов. Не являясь пассивным, перевод был связан с интеллектуальной деятельностью эпохи. Переводы затрагивали все области эллинистической оптики: изучение перспективы, иллюзий, зажигательных зеркал, атмосферных явлений.

Первыми исследователями в области арабской оптики были Куста ибн Лука и аль-Кинди. Во введении к своему труду «О зрительных восприятиях» Ибн Лука определяет оптические понятия и очерчивает границы и предмет науки о видении. Именно его определение «зрительные восприятия» (*аль-Маназир*) стало обозначать мусульманскую оптику в целом. Предметом этой науки считалось изучение многообразия точек зрения (перспектив) и их причин. *Аль-Маназир* не ограничивалась геометрией: для описания визуального восприятия математика была объединена с физикой и анатомией. Именно это отличает ее от греческой оптики и отождествляет с латинской *Перспективой*.

Работы Альхазена показали, что не предмет сам по себе порождает ощущение, а многочисленные световые точки, отраженные от поверхности предмета в направлении глаза, позволяют ощутить изображение, сформированное по законам оптики. По отношению к наследию греков его подход к видению изменился и свел на нет предыдущие теории. Он осуществил фундаментальный переход от сенсорной механики видения к теории точечного соответствия при формировании изображения, возникающего благодаря свету. Хотя экспериментальное исследование на тему отражения и преломления дало развитие механическим принципам, его научная работа явилась основой для появления последующих изысканий в области оптики, касающихся зрения.

Альхазен атаковал теорию экстремиссии убийственными аргументами. Например, он указал на способность ярких объектов вредить глазу (суть повреждения в том, что оно направлено извне). Описав теорию экстремиссии

как полезное знание в области зрения, он позаимствовал ее главную черту — зрительный конус и использовал его в интрамиссионной теории. Вместе с визуальным конусом появилась геометрическая составляющая интрамиссионной теории — впервые две теории объединились, и интрамиссионная теория предоставила достаточно убедительные физические доказательства.

Альхазен видел решение проблемы формирования зрительных восприятий в утверждении, что лишь один луч из каждой точки попадает в глаз строго перпендикулярно, другие падают по касательной и отражаются. Чувствительный орган глаза воспринимает лишь перпендикулярные лучи, формирующие визуальный конус, базой которого является визуальное поле, а вершиной — центр глаза.

Теория зрения была центральной в учении Альхазена, но в нем рассматривались и другие оптические явления. Он изучал природу излучения, связанную со светом и цветом, проводя границу между естественно светящимися телами и теми, которые светятся вторичным светом. Он также изучал физику отражения и рефракции. Ученый продолжил математический анализ излучения цвета и света, в очень замысловатой манере рассматривая вопросы формирования образа рефракцией и отражением. Он привел серьезные и убедительные доводы в области психологии зрительного восприятия.

Благодаря вкладу арабских ученых — аль-Кинди, Аверроэса, Авиценны, Хунайна ибн Исхака — анатомия стала основным партнером оптической науки, равнозначным по важности, поскольку понимание процесса зрительного восприятия все больше требовало обобщения знаний из анатомии и физики света. Физиологическая оптика обязана своим существованием этому союзу. В процессе изучения механизма зрительного восприятия наука перешла от глобального вопроса: как мы воспринимаем внешний мир через чувство зрения, к проблемам, поднятым вследствие привлечения понятия оптического изображения, сформированного из точек и содержащегося в глазу. В дальнейшем эти вопросы стали центральными, определив направление интересов исследователей в физиологической оптике вплоть до Декарта.

Невозможно переоценить значение роли Альхазена в научном прорыве, совершенном арабской оптикой по сравнению с мировоззрением античного мира. Однако было бы опрометчиво исключать вероятность влияния, которое оказали на него работы других ученых. Будущие исследования, возможно, еще приведут к обнаружению работ, выполненных его предшественниками и современниками, как это случилось с трактатом Абу-Саада ибн Зала, посвященным отражениям в зеркалах и преломлениям в линзах.

Главное достижение исламской оптики состоит в объединении разобщенных и несовместимых греческих оптических традиций в одну ясную и стройную теорию. Этот этап в развитии оптики Средневековья принято считать становлением физической и физиологической оптики, что явилось выдающимся вкладом арабских ученых в науку.

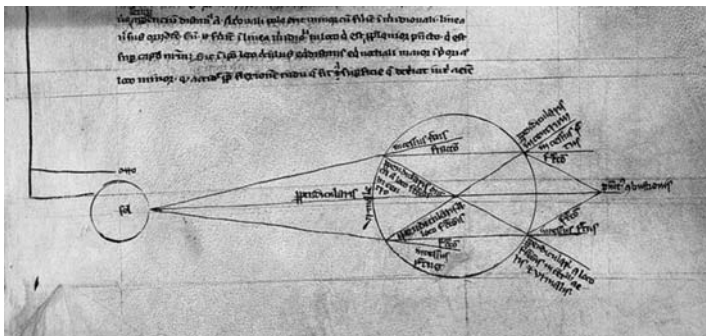
В полемику вокруг видения включились латинские перспективисты Гроссетест, Бэкон и Пеккам. Споры о механизме зрения продолжались в Европе до XVII в., и первый шаг в правильном направлении был сделан в XI в. в Египте Альхазеном, разработавшим первую физическую концепцию света и зрения.

ЧАСТЬ 3

ИСТОКИ ЛАТИНСКОЙ ОПТИКИ (PERSPECTIVE)

Светя другим, сгораю сам.

Латинское изречение



Преломление световых лучей в наполненной водой сфере по Роджеру Бэкону

ВВЕДЕНИЕ

Формирование и восприятие зримых образов составляло для средневековых мыслителей метафизическое содержание оптики, которое было важнее ее геометрических и математических построений. Метафизика света и зрения имеет одним из своих оснований принцип зеркальности, поскольку связь физического и метафизического, чувственно воспринимаемого и мыслимого, представлена в нем как отношение отраженного образа и оригинала. Метафизический символизм корнями уходит в позднюю Античность, когда утверждалась несамоценность естественного света, символизирующего образ света Божественного, дающего миру возможность бытия и осуществляющего процесс оформления материи.

В Средние века метафизика света достигла кульминации в учении Гроссетеста о том, что весь универсум есть результат мультипликации света из первоначально сотворенной точки, в которой свет как форма телесности слит воедино с первоматерией. Поскольку один и тот же свет определяет начала как бытия, так и познания, устанавливается соответствие между Божественным единством и строем мышления, что делает мир познаваемым. В развитие средневековой метафизики света основной вклад внесла целая плеяда мыслителей: Дионисий Ареопагит, Блаженный Августин, Бонавентура, Фома Аквинский, Альберт Великий. В процессе становления метафизика света распалась на ряд обособленных направлений, из которых наибольший интерес представляет естественнонаучное, развитое яркими учеными Гроссетестом, Роджером Бэконом, Пеккамом и Вителло, заложившими основу средневековой оптики — *Перспективы*.

МЕТАФИЗИКА СВЕТА И ЗРЕНИЯ

Красота есть согласие предмета с самим собой
и гармония всех его отдельных частей
между собой и каждой по отношению
к другим и целому.

Роберт Гроссетест

Философия в христианской традиции включала в себя все рациональное знание, в том числе аристотелевскую физику как науку о внешнем чувственном мире. Оптические аспекты физики лежали на границе с математикой, изучающей абстрактные идеи. И хотя и то и другое было доступно для познания разумом человека, представления средневековых мыслителей вызывают необходимость рассмотрения сверхъестественных метафизических проблем света и зрения.

11.1. МЕТАФИЗИКА СВЕТА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АЛЛЕГОРИИ

Ретроспектива интеллектуального развития Средневековья показывает, что понять логику становления любой науки этого периода невозможно без анализа ее метафизического (теологического) слепка. И дело здесь не в том, что ученые в те времена были монахами, а сам процесс передачи знаний проходил под эгидой церкви. Важнее другое: формула Августина «философия — служанка теологии» подразумевала подчиненность ей любого знания. Значимость дисциплины оправдывалась ее важностью в решении теологических проблем и только потом полезностью. Родившаяся из античной оптики средневековая *Перспектива* содержала в себе существенную метафизическую часть. Это было обусловлено основополагающим статусом света и познавательной ценностью зрения. Сыграли свою роль и психофизические аналогии отражений, и гармония цветомузыкальных пропорций. Востребованным оказалось осознание сложных процессов формирования и восприятия зримого образа.

Метафизическое содержание оптики для средневековых мыслителей было важнее, чем геометрические и математические построения. Отражения в зеркалах и преломления в прозрачных средах изучались не для расчета хода лучей, а для понимания процессов отражения действительности человеком или искажения образов внешних предметов, хранимых в памяти. Эстетика цветовых восприятий и роль цветового разнообразия в постижении понятия

красоты были существеннее числовых соотношений белого и черного в красном или зеленом. Дальновидные ученые-монахи указывали на возможности использования зеркал, читальных камней, увеличительных стекол для упрочения позиций христианской церкви, расширения ее влияния и сокрушения врагов.

Метафизика как «натуралистическое учение о сверхчувственном мире и о его отношении к чувственному» берет начало в работах Аристотеля, написанных им «после физики» [45]. Ее существенной частью является метафизика света — совокупность учений о внеземном происхождении света и его роли для человека. В Средние века была разработана система теологических, философских и естественнонаучных представлений о свете, объединяющем в себе «все сущее в первофеномене этого мира» [29]. Содержание метафизики света связано с понятиями *порядок* и *число*, *разум* и *истина*. Здесь возникает вторая философская концепция — метафизика зрения как учение о познавательном дуализме внешнего зрения (физического) и внутреннего *прозрения*. Обе стороны, как две ипостаси метафизического знания, соотносятся с античным пониманием оптики как «науки о природе света и механизме зрения» и с современными представлениями о связи *фотоники* — науки о свете и его взаимодействии с веществом и *иконики* — науки о формировании и обработке изображений.

Представление о богах как о носителях света и сыновьях Солнца пришло из архаических традиций. Семитский Бел, египетский Ра, иранский Ашур Мазда — персонификации Солнца или благодатного света. Венчает этот ряд Благо, которое согласно Платону является животворным Солнцем всех идей и представлений. Через неоплатоников эти образы проникли в христианскую традицию. Средневековое учение о свете развивалось в двух направлениях. С одним из них связаны имена Роберта Гроссетеста и Бонавентуры, с другим — Альберта Великого и Фомы Аквинского. Анализ этих учений приведен во многих современных исследованиях [30], [101]–[103], [106], [156].

Значение средневековой метафизики света и зрения для общего историко-научного процесса по достоинству не оценено до сих пор. Это была концепция, повлиявшая на всю средневековую интеллектуальную жизнь, начиная от наполненных светом готических храмов и заканчивая изобретением очков. Значимость ее не утратилась и в последующие периоды. В описании рая у Данте атрибуты Божественного представляются в световых образах и делают из света главенствующую метафору духовной реальности. Поучительно понимание этого предмета выдающимся российским ученым, философом о. Павлом Флоренским: «Давно замечено, что в литературном произведении внутренне господствует тот или другой образ, то или другое слово. И такое же место зародыша в церковных произведениях, особенно в богослужебных, конечно, принадлежит свету... В его лоне живем, движемся и существуем, это он есть пространство подлинной реальности. А что не есть свет, то не является и, значит, не есть реальность» [95] (см. цв. вкл., ил. 19). Метафизический свет — это единственная истинная реальность, хотя она и недоступна нашему физическому зрению. Он играет роль посредствующего звена, скрепляющего в единое онтологическое целое противоположные сферы реальности: чувственное и умопостигаемое, физическое и математическое, рукотворное и нерукотворное.

В традиционной метафизике свет осуществляет функцию связующего посредника между космологической и антропологической плоскостями, чего-то третьего между телесной и духовной субстанциями в масштабе макро- и микрокосма. На первый план выходят вопросы гносеологии, познаваемости мира и доступных человеку информационных и зрительных методов его изучения. Важна и концепция символического посредничества света — через иерархию причастных и уподобляющихся друг другу светов. Она ближе к современному пониманию трансформации концентрических излучений и иногда метафизически трактуется как три стадии угасания единого света во тьме материи [272]:

- света высшего, нетварного, Божественного, созерцание которого невозможно ни очами, ни душой, но который есть первопричина всего сущего;
- света умопостигаемого, выступающего одновременно как свет прекрасного и свет разума, просвещающий интеллекты людей вечными истинами;
- света чувственного, стоящего на границе телесного мира и мира чистых форм.

Становление метафизических концепций света и зрения идет от неоплатонических истоков через каппадокийских Отцов Церкви к учению Августина и световой иерархии Гроссетеста. Большое теологическое наследие оставила античная метафизика света Платона, Плотина, Прокла и Филона Александрийского. Элементы этих учений были восприняты Оригеном и Дионисием Ареопагитом. Наиболее полно в раннем Средневековье метафизика света представлена Блаженным Августином. Она достигла кульминации в учении Гроссетеста о том, что весь универсум есть результат мультипликации света из первоначально сотворенной точки, в которой свет как форма телесности слит воедино с первоматерией. Отметим вклад, внесенный в эту концепцию последователями Гроссетеста — Бэконом и Пеккамом, а также его оппонентами — Дунсом Скотом, Эриугеной, Бонавентурой, Фомой Аквинатом. В дальнейшем развитии метафизика света распалась на ряд направлений: естественнонаучное, *перспективистское* (Роджер Бэкон, Иоанн Пеккам, Вителло, Дитрих Фрейбергский, Декарт, Кеплер); полумистическое (Порта, Мавролик, Кирхер, Шейнер, Экхарт, Бёме); художественное (Данте, Гёте); теологическое (Григорий Палама, Николай Кузанский); натурфилософское (Шеллинг, Гегель) [92]. Среди этих направлений для нас особенно важно первое, из которого возродилась оптика XVII в.

Метафизика света и зрения имеет одним из своих оснований принцип зеркальности, поскольку связь физического и метафизического, чувственно воспринимаемого и мыслимого представлена в нем как отношение отраженного образа и оригинала. Метафизическая формулировка сущности истины (адекватность представления в его отношении к предмету) интерпретируется как соответствие зеркального образа отражаемому предмету, а степень их подобия задает меру истинности познания. Для обозначения иудео-христианской метафизики зеркальности был введен термин *катоптрософия*, происходящий от двух греческих корней *катоптрон* — зеркало и *софия* — премудрость. Концепция христианской Премудрости — зеркала Божественных энергий (отождествляемого со второй ипостасью троичного Божества) имеет

фундаментальное значение в данной метафизической традиции. Разделение мира на сущностный и являющийся, мир чувственных ощущений и мир понятийных обобщений невозможно без рассмотрения категорий зеркального отражения и света. Поэтому в философии для описания онтологических (бытийных) и гносеологических (познавательных) отношений между различными родами сущего используется принцип зеркального отражения. Анализ произведений античных, средневековых и новоевропейских мыслителей позволяет выделить три основные метафизические концепции зеркальности: эйдологию космоса (Античность), теистическую катоптрософию (Средневековье) и спекулятивную метафизику (Новое время) [101].

Особым разделом метафизики света в Средневековье являются этико-символические рассуждения о цветовых разнообразиях. Начиная с вопроса «Зачем человеку различать цвета?» и заканчивая онтологически важными понятиями красоты и гармонии, метафизика цвета оказалась соединенной с физиологической оптикой, учениями о цветомузыкальных пропорциях и аналогиях и с попытками математического описания радуги или цветов в тонких пленках.

11.2. СЕТОВАЯ МЕТАФИЗИКА АНТИЧНОСТИ

Метафизический символизм уходит корнями в позднюю Античность, когда господствовала неоплатоническая традиция. Она утверждала несамостоятельность естественного света, символизирующего образ света Божественного, который дает миру возможность бытия и осуществляет процесс оформления материи. Основы античной метафизики света были заложены в учении Платона, уподоблявшего статус Блага в умопостигаемой области положению Солнца в области чувственно воспринимаемого. Это Благо в форме *столпа света* являлось составной частью души. Дальнейший ход мыслей последователей Платона может быть передан так: «Как в мире телесном существует свет, поддерживающий все сущее в бытии, так в незримом Архетипе и поднебесном мире существует бесконечный и нетленный свет». Симплиций называет его «первым светом» и «образом отчей глубины». Этот свет «освещает сферу эмпирия и неба».

В период двоевластия уходящей языческой и нарождающейся христианской концепций элементы метафизики света и зрения стали предметом дискуссий. В сочинениях Макробия говорилось, что вещи красотой своею, словно множеством зеркал, отражают неповторимое лицо Творца и что промысел Божий действует удивительным и непостижимым образом в каждом живом создании. Являя себя в них, Бог дает, по Макробию, узреть и познать себя, оставаясь при этом невидимым и непостижимым.

Возможность обнаружить вечное в том, что окружает человека, позволяла рассматривать Божественное начало как род метафоры, используя при этом метафизические аллегории, касающиеся природы света, механизма зрения, эффектов зеркальности и многоцветья мира. Поскольку истоки метафизики света связаны с особенностями восприятия человеком света и универсальными мифологическими представлениями, нельзя не заметить влияния зороастризма, распространившегося в ряде стран Востока. Как изложено в каноне

«Авеста», основной принцип зороастризма составляют вера в единого Бога и противопоставление начал добра и зла, света и тьмы, борьба между которыми составляет содержание мирового процесса.

Таким образом, в античной философии были высказаны отдельные положения, ставшие основанием средневековой метафизики света:

- первофеномен света обозначает собой начало космоса и условие его познаваемости (его видимости и мыслимости);
- существует свет, чувственно воспринимаемый глазами, и интеллигибельный свет, доступный духовному осознанию;
- естественный свет и источник умопостигаемого света соотносятся как зеркальное отображение и его первообраз.

11.3. СТАНОВЛЕНИЕ ХРИСТИАНСКОЙ КОНЦЕПЦИИ

Неоплатоническая традиция оказала влияние на христианскую теологию, несмотря на свое противоречие ветхозаветной установке на однократное сотворение мира во всей его полноте и многообразии из ничего. «В начале сотворил Бог небо и землю. Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною; и Дух Божий носился над водою. И сказал Бог: да будет свет. И стал свет. И увидел Бог свет, что он хорош; и отделил Бог свет от тьмы. И назвал Бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один» (Быт. 1: 1–5). Согласно библейскому тексту, свет есть творение первого дня, предшествующее другим творческим актам Бога (рис. 11.1). Свет отождествляется со «все́м, делающимся явным», а отделение света от тьмы в первый день Творения означает закрепление за светом универсальных положительных качеств: свет — источник жизни, светило лучезарное — стезя праведных, Божественный светильник, храм как жилище света. За темнотой утвердился перечень негативных сторон: тень смерти, тьма порока и невежества, адские темницы, черные мысли. Но речь

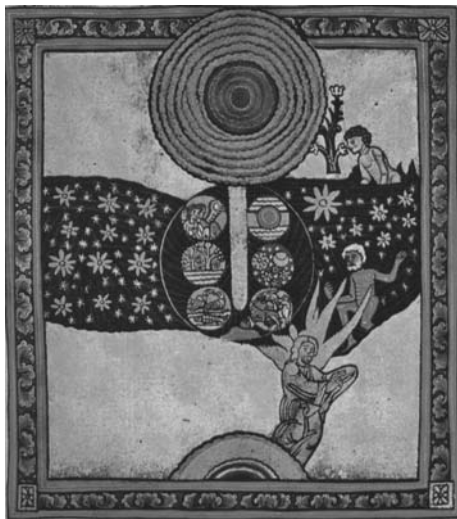


Рис. 11.1
Шесть дней творения.
Миниатюра кодекса Хильдегарды
(Германия, XII в.)

идет не столько о материальном свечении, сколько о духовном, трансцендентном его понимании, достигающем апогея в Фаворском свете Преображения. Фаворский свет — это «идея идей» и «природное блистание благодати». В христианской трактовке свет оказывается или умопостижимой метафорой, или природной реальностью, которая не может стать принципом мышления [47].

По мере разработки христианской теологии трансформируется и развивается метафизическое по сути и иерархическое по форме учение о свете. В раннем Средневековье Бог Отец трактуется как бесконечный свет, а Сын — свет

от света, сияние славы отчей; Дух — огненная теплота, согревающая Архетип и Вселенную. Так из бесконечного Света рождается вещественное бытие. Но поскольку в вещах есть начало конечности и несовершенства — тьма, то нисхождение света есть рождение цветов, которые в античной оптике рассматривались как результаты сочетаний двух начал — света и тьмы. Позже возникли теологические разработки, постулировавшие расширяющиеся от бесконечно яркой Божественной точки световые градации, достигающие индивида. При этом происходит постепенное помрачение света, проходящего ряд превращений — через ангелов, которых ничто не отделяет от Света и богопознание которых и есть белый свет, к человеку, отделенному от Света миром ангелов как некоей средой или облаком, бросающим тень и превращающим белый свет в цветной, и к животным, заслоненным человеческим телом от Света и погруженным во тьму [103] (рис. 11.2).

Средневековая философия привнесла в представления метафизики света сплав Божественного и чувственного, связанных единой первоосновой. От догмата о Сотворении мира отказаться было невозможно, но, с другой стороны, неоплатонизм пришелся по душе мудрецам Средневековья и оставался господствующим на протяжении многих веков. Августин, Бонавентура и другие философы учили, что для духовного познания, кроме силы познания, необходимо еще освещение божественно-духовным светом, благодаря которому человек достигает видения вечной истины. Эта теория *иллюминации* явилась духовной основой возникшего в XVII в. ордена иллюминатов — разновидности масонского ордена, боровшегося за просвещение, космополитический образ мыслей и против монархий; членами этого ордена были Песталоцци, Гердер, Гёте и др.

Со времен Блаженного Августина проводилась параллель между Божественным светом Писания и светом материальным, видимым глазом. Для этого были предпосылки — книги Ветхого и Нового Заветов содержали описания многих оптических явлений: радуги, появившейся после потопа как знак, посылаемый Богом Нюю; столпов огненных по пути из Египта; нерукотворного огня пророка Илии; горящей и несгорающей неопалимой купины.

Радуга являлась знамением завета между Богом и всем тварным миром. Разрабатывая учение об эманации Единого, по которому видимый свет есть проявление во тьме материи света умопостигаемого, его апологеты утвердили



Рис. 11.2
Конец света: трубящий ангел и птица, пожирающая Луну, Солнце и звезды. Миниатюра из Сен-Северского Апокалипсиса [18]

представление о бытии как световой иерархии. Оно было усвоено иудейской, христианской и мусульманской теологиями.

Поскольку один и тот же свет определял начала как бытия, так и познания, устанавливалось соответствие между Божественным единством и строем мышления, что делало мир познаваемым. Располагающийся над тварным светом в качестве его первообраза нетварный свет славы Божьей проистекает из Божественного мрака и являет себя лишь удостоенным его видения. Свет оказался иллюстратором отношений бытия — небытия, прекрасного — безобразного, доброго — злого, знания — незнания. Философские размышления стимулировали оптические исследования и развитие науки *Перспективы* [103].



Интеллектуальная жизнь и культура Средних веков с ее вниманием к свету в готических витражах, драгоценных камнях, мозаиках, иконах и картинах была проникнута духом метафизики света. Средневековье сохранило мифологическое восприятие мира [105]. Мир казался населенным тайными значениями, иносказаниями, переносными смыслами и Божьими знаменами. В этом проявилось стремление сохранить мифопоэтическое познание в гармонии с христианским учением, обострить ощущение сверхъестественного в повседневной жизни. С другой стороны, образы помогали упростить понимание религиозных канонов широкими слоями населения. Христианская церковь, по выражению Гонория Отенского, считала визуальные образы «языком чтения простецов».

В средневековых натурфилософских и теологических трактатах сквозит восхищение не отдельно взятым цветом, а гармоничным цветовым разнообразием, игрой внешнего солнечного сияния и яркостью природного или интерьерного освещения. Литература этого периода изобилует восторженными описаниями дневного света или отсветов пламени. И мусульманская мечеть (см. цв. вкл., ил. 20), и готический собор (см. цв. вкл., ил. 21) строятся в расчете на снопы света, которые падают через проемы в стенах, и эта достойная восхищения и ничем не прерываемая световая проницаемость пленяет аббата Сугерия, когда он говорит: «Освещенный посередине, лучится весь храм. Поистине сияет — светоносное, светом соединяемое и пронизанное нездешним сиянием, светится новое творение».

11.4. МЕТАФИЗИКА СВЕТА И ЗРЕНИЯ В УЧЕНИИ АВГУСТИНА

Отвлеченная мысль есть отражение абсолютного Божественного знания, серебристое зеркало, в котором отображены сверкающие иглы солнечного света.

Блаженный Августин

Из понимания метафизики света и зрения как совокупности учений о внеземном происхождении света и его гносеологическом значении для человека следует, что идеи излучают свет и что познание — прозрение под влиянием этого света. Эта концепция трансформировалась на протяжении длительного периода — от Платона до святителя Григория Паламы. Особый интерес вызывают мистика, богословие и метафизика света в текстах великого богослова Дионисия Ареопагита, который оказал большое влияние на культуру христианского мира в Средние века и эпоху Возрождения. Все, что

написано Ареопагитом о Божьем имени *Свет*, является богословием и в то же время — метафизикой света. Введенные им категории *источающее свет сияние* и *воскипающее светоизлияние* (см. цв. вкл., ил. 22) не встречаются в учениях ни у эллинских философов, ни у предшествующих Дионисию христианских авторов. Большую роль в представлении о свете сыграл предложенный Дионисием образ мрака Божественной темноты. Нетварный свет — это сверхсветлый мрак, нечто вроде сверхсильного света, недоступного восприятию. «Божественный мрак — это тот недосыгаемый свет, в котором обитает Бог. Свет этот незрим по причине чрезмерной ясности и недосыгаем по причине переизбытка сверхсущностного светопития», но все же каждый, кто того достоин, может воспринять его в невидимости и непознаваемости, во мраке увидеть сверхсветлый свет.

Световые метафизические аналогии несли в себе опасность сближения с зороастризмом и другими сектами огне- и солнцепоклонников. На стадиях построения христианской традиции Отцам Церкви приходилось воспевать свет как благодать и предостерегать от его излишнего обожествления. Толкуя соответствующее место из Евангелия от Иоанна, Ориген писал, что, хотя Бог именуется здесь Светом, это не означает, что его нужно представлять по образу света солнечного; он называется Светом, «ибо в нем есть сила, через которую каждый из нас просвещается». Блаженный Августин в своей исповеди изрек: «Слово Бога есть истинный свет, освещающий всего человека». Именно Августин в борьбе с религиозными концепциями и ересями внутри христианства создал законченное и многогранное учение о дуальной природе света — физического и метафизического.

Августин разделил мир на чувственно воспринимаемые предметы — сферу приложения «рационального познания предметов временных» и на постигаемые умственно — сферу приложения «интеллектуального познания предметов вечных». В обеих сферах средством познания является свет. Усилия Блаженного Августина привели «то ли к христианизации платонизма, то ли к платонизации христианства» [47]. Как говорил Фома Аквинский в «Сумме теологии», «Августин шел по стопам платоников столь долго, насколько это вообще было возможно». Августин сделал попытку христианизировать платонизм, отождествив *умственный свет* неоплатоников, имеющий природу необходимого теоретического знания, с мистическим евангельским Светом, «который просвещает всякого человека, приходящего в мир» (Ин. 1: 9). На деле же он, скорее, добился платонизации христианской доктрины, представив Божественный свет в одних случаях как просвещающую человека истину теоретических наук, в других — как озарение, делающее эту рациональную истину «зримой» для человека [47] (рис. 11.3).



Рис. 11.3
Озарение.
Миниатюра из манускрипта
Альберта Великого
«Природа хаоса»

Для выражения своей основной идеи Августин воспользовался термином «иллюминация», отчего это учение называют *иллюминизмом*. Это христианская разновидность платонизма, и его гносеологическим истоком служит материализация положений теоретических наук и идеализированных объектов.

Августина гипнотизировали законы чисел, принципы геометрии и логики, достоверность которых казалась ему не имеющей аналога в мире чувственном. Он как бы раскалывал реальность на два мира, помещая человеческий ум посередине между ними. Интеллигибельные, умственные предметы, поскольку они той же природы, что и сам ум, постигаются путем прямого видения, созерцания или даже слияния, отождествления с ними ума. Воспринимая интеллигибельную истину, различные умы только отражают ее каждый на свой манер, подобно множеству зеркал, в которых отражается одно и то же лицо.

Световая символика вводится Августином там, где он пытается проникнуть в механизм взаимодействия познающего субъекта с обожествленным умопостижимым. Этот механизм изображается им по аналогии с механизмом зрительного восприятия. Человеческий ум уподобляется взору; содержание памяти (включая образы) или сама память — объекту наблюдения; истина, тождественная объективному разуму, т. е. принципам наук и мышления, — свету, изнутри самой же памяти озаряющему предметы, ею хранимые. Августин считал, что без этого света сущность предметов оставалась бы «невывешенной», скрытой для ума. В свете этой истины ум судит о вещах даже тогда, когда не обращает никакого внимания на сам источник света и не видит, откуда свет, но видит только озаренные им предметы, открывая в них порядок, красоту и благо. Свет истины озаряет и человеческий ум, делая его самому себе понятным. По мнению Августина, «такой свет нельзя видеть чувственными глазами; нельзя мыслить распространенным в пространстве, хотя он повсюду ожидает тех, кто его ищет, и нет ничего достовернее и яснее его. И все, что сказано о нем, очевидно для нас не иначе, как благодаря тому же свету. Через него я понимаю, что сказанное истинно, и то, что я понимаю это, я понимаю опять же при его посредстве». Однако видеть в этом свете может только то, что имеет подобную световую природу (подобное воспринимается подобным), каковым является человеческий ум [103].

Различают два варианта иллюминизма. В первом истины просвещают ум своим светом, во втором — они постигаются умом благодаря тому, что озаряются Божественным светом. В Средние века популярнее был второй вариант. Отождествление Бога с геометрическими теоремами и теорией чисел не импонировало благочестивым теологам. Под влиянием теории Божественного света были Ансельм, Александр из Гэльса и его ученик Бонавентура. Ученики последнего — Иоанн Пеккам, Роджер Марстон — также испытали влияние Августина. Что касается Фомы Аквинского, то теория Божественной иллюминации получила у него интерпретацию, сводящую ее к нулю. Интеллигибельный свет был истолкован как свет человеческого разума, истинного в силу того, что он создан по образу и подобию Бога.

Познавательная способность — это материальная причина познания; познаваемый предмет — формальная причина; воля — действующая причина.

Лучшей иллюстрацией этой схемы Августин считал зрительное восприятие. Первичным в акте зрения является объект, который существует независимо от восприятия. Зрительная способность, взятая сама по себе, при отвлечении от объекта есть только чистая возможность видеть (в темноте мы обладаем зрением, но не видим). Действительное зрение (видение) начинается с момента, когда интенция духа, т. е. воля, направляет эту способность на объект, и последний *ин-формирует* ее, т. е. запечатлевает на ней свою форму.

Под зрительной способностью Августин понимает телесное чувство с его физиологическим аппаратом. Зрительный телесный луч-взор, направленный волей на тот или иной объект, воспринимает форму этого объекта, *ин-формируется* им непосредственно. Но исходящие из глаз зрительные лучи обладают эластичностью и не примешивают к себе субстанции того, чего касаются. Поэтому реальное зрительное восприятие объекта длится лишь до тех пор, пока лучи «обозревают» его. Запечатление формы объекта лучом напоминает не отпечаток перстня на воске, а отпечаток перстня на воде, исчезающий сразу после удаления перстня. Взор переводится с данного объекта на другой и передает в зрительный центр впечатление о форме уже иного предмета. Форма самого объекта и его форма, запечатленная в световой субстанции луча, настолько же различны, насколько отличаются предмет и его изображение в зеркале. Первая — реальная форма, вторая — ее физиологический образ. Этот образ удерживается в зрительном центре, пока телесный взор обозревает предмет, а потом расплывается, как расплывается световое пятно, когда мы закрываем глаза после длительного созерцания пламени [47]. На основе телесного образа предмета возникает образ психический, ибо душа осознает то, что испытывает тело. Рождение психического образа на основе телесного и есть ощущение: я не видел бы предмета, если бы не чувствовал, что вижу его. Это чувствование, или «духовное зрение», принадлежит исключительно душе и есть свободное целеустремленное созерцание, результатом которого является третья форма видимого предмета, форма бестелесная — образ предмета в душе видящего. Он может благодаря памяти существовать после удаления его объекта, может усилием воли вновь и вновь вызываться из памяти и представлять перед духовным взором воображающего. Образ предмета, вызванный воображением, Августин иногда называет четвертой формой предмета [337].

Итак, первая и вторая формы телесны, третья и четвертая — бестелесны. Акт чувственного познания состоит в том, что интенция души (воля) поочередно соединяет и отождествляет вторую, третью и четвертую формы с первой, т. е. с реальной формой предмета, и тем самым делает чувственный образ объективным. «Ряд, который мы начинаем формой (*species*⁵) тела и завершаем формой, возникшей в представлении воображающего, обнаруживает четыре как бы последовательно рождаемые одна от другой формы; вторая — от первой, третья — от второй, четвертая — от третьей, ибо от формы видимого тела рождается форма в чувстве видящего, от нее — форма, запечатлевающаяся в памяти, а от нее — форма, возникающая в душе воображающего». Таким образом, Августин сделал шаг в сторону от неоплатоников в своем понимании эмпирического происхождения чувственных образов [125].

⁵ Св. Августин считал термины *species* и *forma* синонимами.

Рационалисты XVII в. говорили о «естественном свете разума», светящем изнутри и позволяющем ясно видеть необходимую истинность принципов наук, эстетики и морали. Они говорили также о свете научной истины, обладающей убеждающей и просветляющей силой. Контекст, в котором это говорилось, — рационалистический и просветительский иллюминизм — имел в Новое время антирелигиозную и антитеологическую направленность: ясный и радостный свет природы противопоставлялся таинственному и пугающему мраку религиозных догматов и символов. Что касается терминологии и символики иллюминизма, то в этом философы Нового времени оставались учениками Августина. Они были наследниками неоплатонического иллюминизма, переданного им в христианизированной форме сочинениями Августина и Псевдо-Дионисия [47].

Бестелесная душа просвещается бестелесным светом простой премудрости Божией, подобно тому как телесный воздух озаряется телесным светом; и как воздух, оставшись без света, погружается во мрак, так и душа, лишенная света премудрости, оказывается во тьме. Когда Августин говорит о том, что свет объективной научной истины озаряет, просвещает ум человека и делает его способным правильно судить о вещах, то можно забыть, что это говорит теолог, и посчитать эту фразу метафорой просветителя-гуманиста Нового времени. Но стоит лишь вспомнить, что «Августин признает истинным „просветителем“ и учителем лишь Бога», как мы снова окажемся в преддверии Средневековья [47].

Отождествление истины и блага, дела познания и дела нравственности, воспринятое от Античности, придало гносеологическим исследованиям Августина особую значимость и сделало его чувствительным к вопросу о достижимости достоверного знания. Борясь против скептиков, он отстаивал достоверность истин диалектики (в то время логики) и математики, выступал с реабилитацией чувственного познания: «Ваши доказательства никогда не смогли бы до такой степени подорвать значение чувств, чтобы вы убедили нас, что мы ничего не видим» («Против академиков»).

Согласно Августину чувства, начиная процесс познания, сами по себе дают еще не знания в собственном смысле, а лишь подобие знания. Он полностью усвоил античное учение о познании как уподоблении — подобное познается подобным. Истина понимается им как субстанция логических законов, в которой они имеют свое независимое от предметного мира бытие и из которой они посредством человеческого разума проецируются на предметный мир. Истина есть Бог, точнее Божественный разум, светом которого наполняется разум человеческий, делаясь от этого способным судить истинно. Как нечто Божественное, истина в чистом и полном виде недоступна человеческому уму. Сам Божественный свет (свет самой истины) есть мрак для человеческой души; чем ближе к этому свету, тем больше он ослепляет.

ИЕРАРХИЯ СВЕТА РОБЕРТА ГРОССЕТЕСТА

Все природные явления нужно объяснять
с помощью линий, углов и фигур.

Роберт Гроссетест

Следующий шаг в развитии метафизики света и зрения был сделан на рубеже XII–XIII вв., когда латинская интеллектуальная жизнь обогатилась переводами арабских трактатов и комментариями античных учений. Этот период характеризовался общеевропейским процессом передачи и распространения знаний, а также разработкой методических основ схоластики. Вершина развития метафизических концепций, посвященных природе света и механизму зрения, совпала со временем возникновения первых университетов и расцветом высокой готики.

Известный теолог Гуго Сен-Викторский затронул вопросы внешнего и внутреннего зрения, приводя классификацию наук по Аристотелю в переложении Боэция. Душа благодаря связи с телом занимает посредствующее положение между Богом и миром. Гуго наделил ее тремя познавательными способностями: *чувственной*, связанной с воображением и предназначенной для восприятия внешнего мира; *рациональной*, связанной с понятийно-рассудочной деятельностью и предназначенной для самопознания души; *созерцательной*, связанной с интуицией и предназначенной для постижения Бога и Божественных предметов. Это представление о трех способностях подразумевало различные метафизические категории света, предназначенные для каждого типа восприятия.

Тогда же французский церковный и государственный деятель Сугерий из аббатства Сен-Дени проповедовал созерцание чувственного света церковных витражей как постижение света вечного, который есть сам Бог: «Чувственной красотой душа возвышается к истинной красоте и от земли возносится к небесам, и то, что кажется находящимся во взаимном противоречии, вследствие более низкого происхождения и противоречивости своего существа, приводится к согласию одной высшей, прекрасно сбалансированной гармонией» [103].

Обоих деятелей можно назвать предшественниками Роберта Гроссетеста — автора глубокой метафизической концепции света и зрения. Именно он, епископ Линкольна и духовный учитель Бэкона, может считаться истинным вдохновителем средневековой оптики в ее *перспективистской* форме.



Роберт Гроссетест учился в Оксфорде, став в 1190 г. магистром искусств. Возможно, он продолжил свое образование в Париже. В 1214 г. он получил степень доктора теологии. В карьере Гроссетеста были посты канцлера Оксфордского университета и первого ректора оксфордских францисканцев. В 1235 г. он вступил в должность епископа Линкольнского, которую занимал до своей кончины. Похоронен ученый в Линкольнском соборе. Кроме многочисленных переводов с греческого, Гроссетесту принадлежат собственные комментарии к Священному Писанию, «Ареопагитикам», сочинениям Иоанна Дамаскина и Аристотеля.

В трудах Гроссетеста впервые появился термин *перспектива* как латинизированный аналог греческой оптики, охвативший метафизические представления о свете и зрении. Центральной идеей в космологии Гроссетеста является свет, возникший, когда Бог создал первичную точечную частицу материи и ее форму — бесплоскостную частицу (точку) света. Гроссетест относил эту форму к *первообразу*. После акта Творения, по мнению ученого, начинаются два процесса — испускание света во все стороны и дифференциация, когда часть света возвращается обратно к центру. Эти процессы порождают небесные сферы и определяют подлунное пространство. Темы микрокосма и макрокосма — центральные в работах Гроссетеста: человечество представляет пик созидательной деятельности Бога и отражает Божественную природу и структуру космоса. Гроссетест разделял средневековые представления об однородности космоса: небеса состоят из лучшего вещества, чем земные субстанции, но разница эта скорее количественная, чем качественная [273]. Бог сотворил в начале времен световую точку, в которой воедино были слиты первоформа-свет и первоматерия и потенциально заключен весь мир. Из нее по законам излучения начался процесс эманации, творивший окружающий мир. Сотворенные тела являются в большей или меньшей степени преумноженным светом, что обуславливает единство мироздания. Геометрическим законам умножения и распространения света придавался статус всеобщих законов естествознания.

Гроссетест поставил теорию света на эстетико-метафизическую основу. В своих трудах он определял свет как величайшую из пропорциональностей, как уместность в самом себе: «Свет прекрасен сам по себе, потому что природа его проста и он всецело подобен самому себе. Посему он обладает предельным единством и соразмерностью пропорций. Согласованность пропорций и есть красота». Это тождество является всеобщей пропорцией и обосновывает всеобъемлющую красоту Бога — источника света: «Бог же в высшей степени ясен, Сам в Себе предельно упорядоченный и согласованный».

12.1. ТРАКТАТ «О СВЕТЕ, ИЛИ О НАЧАЛЕ ФОРМ»

Идея отвести свету центральную роль в зарождении и формировании Вселенной пришла к Гроссетесту под влиянием неоплатонизма и арабских трактатов по оптике. В его сочинении «О свете, или О начале форм» эта концепция осознается во всей своей глубине и излагается с совершенной последовательностью [16]. Трактат можно разбить на пять частей. Первая посвящена доказательству того, что первичная телесная форма есть свет. Во второй части

содержится математическое обоснование этого тезиса, опирающегося на факт, что свет есть то единственное, чему по самой его природе присуще свойство бесконечно умножать себя посредством себя же самого и тем самым распространять себя во все стороны. Космогонический процесс, специфика протекания которого основана на этом свойстве, составляет содержание третьей части. Четвертая часть посвящена характеристике различных видов движения, присущих сферам универсума. В пятой части трактата приводится теория чисел Гроссетеста, несущая на себе отпечаток пифагорейского наследия.

В заключительной части трактата Гроссетест касается пяти пропорций, относящихся к открытым Пифагором гармоническим интервалам: октаве (2:1), квинте (3:2) и кварте (4:3), к которым, по свидетельству Боэция, Гиппас добавил еще двойную октаву (4:1) и дудециму, состоящую из октавы и квинты (3:1). Согласно пифагорейцам и Платону по этим интервалам строится гармония сфер. Однако «утверждение, что движение [светил] рождает гармонию, поскольку [издаваемые ими] звуки объединяются в консонирующие интервалы, при всей своей остроумности и оригинальности неверно» [282]. Планеты не могут издавать при движении никаких звуков, ибо «орбиты движутся, а звезды покоятся и перемещаются вместе с орбитами, к которым прикреплены». Тема света, гармонично формирующего хрустальные сферы планет и ангельские, архангельские, серафимские круги, иллюстрируется схемой Роберта Фладда, применившего известные арк-диаграммы Боэция (рис. 12.1).

По световой иерархии Гроссетеста вначале Бог одновременно создал из ничего первоматерию и ее форму. Можно предположить, что Он сначала сотворил простую материальную точку и придал ей форму. Эта форма — свет; но свет есть очень тонкая телесная субстанция, приближающаяся к бестелесной, характерные свойства которой — непрерывное порождение самой себя и мгновенное распространение по сфере вокруг точки. Представим себе светящуюся точку: вокруг нее как вокруг центра мгновенно возникает огромная светящаяся сфера. Распространение света может прекратиться только по двум причинам: либо оно встречает на своем пути непрозрачное препятствие, либо достигает крайнего предела разреженности, и тогда распространение света прекращается само собой. Эта обладающая формой субстанция является началом всех вещей; она есть первая телесная форма, называемая иногда телесностью.



Рис. 12.1
Поиск гармонии в астрономии.
Схема философа-мистика и астролога
Роберта Фладда

Если принять эту гипотезу, то формирование мира объясняется следующим образом. Поскольку дана материя, имеющая три пространственных измерения, дана и телесность. То же самое верно для света. Первоначально, раз форма и светящаяся материя находятся в одной точке, они равным образом не имеют протяженности. Но если дана светящаяся точка, значит, дана и сфера; а если свет существует, то он мгновенно распространяется и при этом увлекает за собой и распространяет материю, от которой он неотделим. Так что свет — это сама сущность телесности, или сама телесность. Первоформа, сотворенная Богом в первоматерии, бесконечно умножает самое себя и распространяется по всем направлениям, от начала времен как бы растягивая материю, с которой соединена, и создавая массу созерцаемой нами Вселенной [282].

Тонкими рассуждениями Гроссетест доказывает, что в результате бесконечного умножения света и его материи должна была образоваться конечная Вселенная. Ибо результат бесконечного перемножения чего-либо бесконечно превосходит умножаемое. Если исходить из простого, то достаточно конечного количества, чтобы бесконечно его превзойти. Значит, свет, который прост, будучи умножен бесконечное число раз, должен растягивать столь же простую материю по размерностям, обладающим конечной величиной [16]. Так формируется конечная сфера, на границах которой материя находится в предельно разреженном состоянии; по мере приближения к центру она становится все более густой и плотной. После первоначального расширения, фиксирующего границы Вселенной, материя, находящаяся в центре, сохраняет способность разрежаться. Поэтому телесные субстанции центрального земного мира наделены активностью, а находящиеся на периферии звезды неизменны.

Витражная роза католических храмов представляет собой образ Вселенной — универсума с Божественным центром. Однако не все знают, что круговая символика розы отражает метафизическое учение Гроссетеста о световых эманациях. Последовательное формирование все более разреженных световых оболочек порождает концентрическую структуру с Иисусом в центре и постепенно расходящимися к периферии лепестками заступников, святителей, апостолов и ангелов. Роза — это художественная иллюстрация идеи первоформы, сотворенной Богом в первоматерии, бесконечно умножающей самое себя и распространяющейся по всем направлениям. Витражные розы во всем их цветовом и геометрическом разнообразии присущи многим средневековым соборам Западной Европы (рис. 12.2, см. цв. вкл., ил. 23–26).

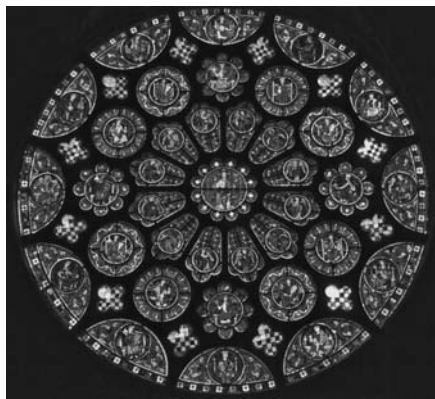


Рис. 12.2
Католическая роза в готическом соборе как зримый образ световой метафизики Гроссетеста (фото авторов)

Гроссетест считал, что когда исчерпаны все возможности разрежения света, внешняя граница сферы образует твердь, отражающую свет к центру мира. Именно действие отраженного света последовательно порождает девять небесных

Гроссетест считал, что когда исчерпаны все возможности разрежения света, внешняя граница сферы образует твердь, отражающую свет к центру мира. Именно действие отраженного света последовательно порождает девять небесных

сфер, из которых низшая — сфера Луны. Вслед за последней небесной сферой, неизменной и неподвижной, располагаются сферы огня, воздуха, воды и земли. Таким образом, Земля принимает и концентрирует в себе действия всех высших сфер. В ней сосредотачиваются все высшие светы, и на земной тверди можно обнаружить воздействие любой сферы.

Главная заслуга Роберта Гроссетеста состоит не в формулировке этой космогонии света. Его миссия заключалась в выборе концепции материи, позволившей применить позитивный метод в науках о природе. Прежде своего ученика Роджера Бэкона и с полной определенностью Гроссетест заявил о необходимости применять в физике математику: изучать линии, углы и фигуры, без которых невозможно основать и усвоить натуральную философию.

12.2. СВЕТ И ГЕОМЕТРИЯ: ЛИНИИ, УГЛЫ И ФИГУРЫ

Гроссетест первым провозгласил, что только геометрическая оптика, или «наука о перспективах», основанная на изучении «линий, углов и фигур», может открыть причины естественных явлений, становясь тождественной «естественной науке». Именно свет, будучи одновременно основанием и естественных процессов, и их интеллектуального познания, делает вещи умопостигаемыми. Вслед за Августином он утверждал, что из всех тел свет в наибольшей степени близок к бестелесности, являясь связующим звеном между телесным миром и миром чистых форм в масштабах универсума. Свет оказывается посредником и в пределах микрокосма-человека: через свет высшая часть души, не связанная с телом, руководит и движет последним.

В своем сочинении «О линиях, углах и фигурах, или О преломлениях и отражениях лучей» Гроссетест определил способ распространения природных воздействий: они происходят по прямой линии либо непосредственно, либо согласно законам отражения и преломления. Что касается фигур, то необходимо глубоко изучить две из них: сферу, так как свет умножается сферически, и пирамиду, оказывающую самое сильное воздействие одного тела на другое. Световая пирамида — это, с одной стороны, свет, исходящий от всей поверхности излучающего тела и сконцентрированный в одной точке пассивного объекта. С другой стороны, это свет, расходящийся конусом от точечного источника и освещающий предметы окружающего мира (см. цв. вкл., ил. 28). Основное содержание физики, по Гроссетесту, заключается в изучении свойств фигур и законов движения в том виде, в каком они существуют в подлунном мире. Идя по такому пути, можно объяснить все природные явления. Это триумф оптики и геометрии, объясняющий то глубокое восхищение, с которым относился к своему учителю Роджер Бэкон.

Гроссетест считал, что свет благодаря своему совершенству располагает на верхней ступени иерархической лестницы. Остальные ступени занимают сотворенные тела, являющиеся преумноженным светом. «Убеждение в том, что свет был материалом видимой Вселенной, увело Гроссетеста от Аристотеля, но в результате родилась методология, в основе которой лежали математика и эксперимент» [244].

Гроссетест не ограничил гипотезу объяснением материального мира и неорганической природы — он распространил ее на явления жизни и познание.

Бог воздействует на мир светом. При этом человек является как бы микрокосмом, в котором душа занимает то же место, которое Бог занимает в макрокосме. Поэтому и душа воздействует светом на чувства и на все тело. Следуя учению Августина, Гроссетест утверждает, что душа может оказывать воздействие на тело, но, поскольку менее благородное не в состоянии воздействовать на более благородное, тело не может оказывать воздействие на душу. Как же душа производит свое воздействие? Со всей остротой данная проблема встает по отношению к высшей части души, которая не является действием тела и не нуждается для своей активности в каком-либо телесном орудии. Для разрешения проблемы Гроссетест ввел понятие *посредствующего света*, действующего посредником между чисто духовной субстанцией — душой и сугубо материальной субстанцией — телом.

Гроссетест объясняет, как душа, словно оцепеневшая в теле, под натиском ощущений пробуждается к восприятию сверхчувственного, анализирует сложность объектов, отделяет цвет от величины, формы и массы фигуры, затем — фигуру и величину от массы, и так до тех пор, пока не дойдет до познания телесной субстанции, несущей в себе эти акциденции. Если при этом мы исходим из ощущений, то потому, что наша душа, ослепленная любовью к собственному телу, способна видеть только то, что она любит. Избавляясь от любви к телу, душа, наоборот, открывается воздействию Божественных Идей [255].

Бог, будучи в превосходной степени простым, являет собой высшее согласие и соответствие себя себе самому. Отстаивая эту точку зрения, Гроссетест вступил на путь, по которому двигались схоласты его эпохи — от св. Бонавентуры до св. Фомы. Неоплатонический характер его мышления заставлял акцентировать внимание на проблеме света: он рисует нам образ Вселенной, образовавшейся из единого потока световой энергии, которая одновременно является источником красоты и бытия. Речь идет об эманации: из вселенского света через последовательные разрежения и сгущения образуются астральные сферы и зоны природных элементов, следовательно, и бесконечные оттенки цветов и механико-геометрические объемы вещей.

Соразмерность мира, по Гроссетесту, представляет собой не что иное, как математический порядок, в котором свет, распространяясь в процессе Творения, овеществляется по-разному, в соответствии с разной степенью сопротивления материи. «Телесность, следовательно, есть или сам свет, или то, что совершает упомянутое действие и вносит в материю измерения в силу того, что оно причастно самому свету и действует посредством свойства самого света. Ведь свет в силу самой своей природы распространяет себя самого во все стороны, причем таким образом, что из световой точки тотчас же порождается сколь угодно большая световая сфера, если только путь распространения света не преградит нечто, способное отбрасывать тень». Созерцание Вселенной превращается в созерцание красоты как через пропорции, которые анализ обнаруживает в мире, так и через непосредственное воздействие света, весьма приятного для глаза, в наибольшей степени способного порождать и являть красоту [16]. У Гроссетеста чувственно воспринимаемые предметы не просто освещаются естественным светом, но и сами им являются, поскольку «подобное познается подобным».

Гроссетест считается первым западноевропейским ученым, полностью и поэтапно описавшим научный эксперимент. «Благодаря таким людям, как Гроссетест, в XIII в. зародились основы научного метода. Отдавая должное достижениям научной революции XVII в., справедливо будет признать, что теоретическое значение наблюдений и эксперимента заявило о себе в высоком Средневековье» [156].

12.3. СВЕТОВАЯ МЕТАФИЗИКА ПОЗДНЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

У многих людей есть теории относительно тех или иных объектов, но так как эти теории построены не на опыте, то ими не пользуются, они не побуждают людей стремиться к добру и избегать зла.

Роджер Бэкон

Позиция Гроссетеста была отлична от мнения многих католических мыслителей. Ульрих Страсбургский в «Сумме о Благе» не отождествлял естественный свет и свет «формальный»: «Так же как свет телесный есть причина красоты всех цветов, так свет форм есть причина всех форм». К Гроссетесту был близок св. Бонаventura, утверждавший, что всякая вещь содержит в себе наряду с множеством частных форм, объясняющих свойства данной вещи в ее отличии от других вещей, и общую для всех вещей световую форму.



Бонаventura (настоящее имя — Джованни Фиданца) в 1254 г. закончил два факультета Парижского университета (искусств и теологии), остался в нем преподавать теологию, но в 1257 г. покинул этот пост, чтобы стать генералом ордена францисканцев. Бонаventura отдавал должное философии Аристотеля, подчеркивая его логику и одобряя большую часть его метафизики. При этом он был согласен с формулой «наука — служанка религии». Языческая философия рассматривалась им как инструмент, который можно использовать для блага теологии и религии. Но он был осторожнее Бэкона в применении философии и подчеркивал риски ее распространения. Бонаventura был пессимистом в отношении способности чистых рассуждений без святого озарения достигать истины.

Однако разработку метафизики света Бонаventura продолжил с иных позиций истолкования природы и творящего начала света. Свет представлялся ему *материальной формой* тел. Это первая детерминация, усваиваемая материей от начала ее существования: «Свет — материальная форма тел; своей большей или меньшей причастностью к свету тела приобретают правду и достоинство своего бытия» [108]. В этом смысле свет согласно Бонаventure является первоначалом всякой красоты потому, что он «доставляет наибольшее наслаждение» из всех постижимых типов реальности. Через свет осуществляется всевозможная дифференциация цветов и степени освещенности на земле и на небе.

В силу мистических и неоплатонических противоречий, присущих его философии, Бонаventura подчеркивал космические и эстетические аспекты энергетики света. Свет, по Бонаventure, можно рассматривать в трех аспектах. В качестве собственно *света* он рассматривается сам в себе как нечто,

распространяющееся свободно и являющееся причиной всякого движения. В этом смысле свет проникает в недра земли, образуя минералы и зародыши будущей жизни, доставляя камням и рудам «силу звезд», которая является производной его тайного могущества (рис. 12.3). Свет обладает «светоносной сутью» и переносится в пространстве прозрачными субстанциями. В качестве *цвета* и *сияния* свет отражается непрозрачными телами, о которые ударяется. *Сияние* порождается небесными светилами, а *цвет* — земными телами. Видимый цвет происходит от слияния двух типов света — заключенного в непрозрачном теле и изливающегося через пронизываемое пространство, при этом второй поток актуализирует первый. Свет как цвет или отражение непрозрачного тела есть форма случайная.

Бонаventura призывает: прежде чем поднять глаза к лучам мудрости, которые отразятся в зеркале души, чтобы не быть ослепленным их светом и не впасть в более густую тьму, следует очистить душу «стрекалом угрызений совести» [261]. В процессе чувственного восприятия вещи проникают в душу



Рис. 12.3
Сила света звезд.
Средневековая миниатюра,
основанная на геометрической традиции
и световой иерархии.
Космологическая структура соответствовала
птолемеевой системе мира

посредством подобия, порождаемого в окружающей среде. Последовательность порождения видов позволяет нам увидеть Бога в зеркале его творений.

Эти идеи восходят к учению Аристотеля и означают для Бонавентуры, что свет, прежде чем стать физической реальностью, являлся реальностью метафизической. Античные философы и средневековые схоласты не могли рационально, не прибегая к Божественному вмешательству, объяснить факт сообщения душе зрительных образов. Теория познания Бонавентуры была объединением аристотелизма и августицизма, теории абстракции с теорией освещения души, рационализма с мистицизмом, причем ведущим был мистический подход.

Главный схоласт Средневековья Фома Аквинский считал понятие света качеством, пристекающим из субстанциальной природы Солнца.



Фома родился в 1225 г. на юге Центральной Италии, в небогатой семье. Начальное образование получил в бенедиктинском аббатстве Монте-Кассино. Затем обучался на факультете искусств университета Неаполя, где познакомился с философией Аристотеля. После присоединения к ордену доминиканцев Фома был послан в Париж, где в 1256 г. достиг степени доктора теологии. Остаток своей жизни он посвятил преподаванию и написанию книг. Фома оказал наибольшее из всех схоластов влияние на европейскую мысль, слыл модным профессором, привлекал и вдохновлял студентов. Однако он навлек на себя враждебность многих коллег и прелатов как просветитель и возмутитель спокойствия. Из его огромного наследия упомянем две работы: «Сумму против язычников» и «Сумму теологии», оставшуюся незавершенной из-за смерти философа в 1274 г.

Солнце находит в прозрачном теле готовность принять свет и передать его дальше, после того как это тело приобретет новое состояние, которое, в сущности, есть состояние светоносности. Фома утверждал, что в теле индивидуума, возрожденного к жизни после воскрешения из мертвых, свет заблистает в четырех своих ипостасях. Это чистота, которая освещает; беспристрастность, благодаря которой ничто не может этот свет запятнать; легкость, ибо он проходит моментально; проницаемость, благодаря которой свет пронзает прозрачные тела, не нанося им вреда. «Так просиявшая плоть, в которой царит природа света, обладает четырьмя состояниями». После того как произошло преобразование идеала во славу Господню, а изначальные пропорции перешли в чистые отблески света, идеал человека равностороннего, пропорционального стал эстетическим идеалом и в мистике света. Прекрасны те вещи, которые приятны зрению. Видение здесь воспринимается как познание, а не просто процесс осматривания: вещи не *увидены*, а *восприняты* вполне сознательно. Любое видение для Фомы есть восприятие, некое познание.

В учении Фомы Аквинского о телесном и интеллектуальном зрении участвуют три посредника. Это свет, который нечто освещает (таков естественный свет по отношению к телесному зрению и свет активного разума по отношению к пассивному); иной свет, при помощи которого осуществляется зрение, и зеркало, в котором нечто становится видимым. В *небесном видении* лицом к лицу третий посредник отсутствует, но в земном существовании человеку необходимо «тусклое и загадочное зеркало» тварного мира, позволяющее разглядеть неясные очертания Божества.

На другого выдающегося средневекового схоласта — Роджера Бэкона — наибольшее влияние оказало учение Гроссетеста о световой иерархии. Существенна метафизическая составляющая бэконовских оптических теорий, которые не могли бы родиться без изучения математизированного «Сокровища оптики» Альхазена и трактата «О свете, или О начале форм» Гроссетеста. Бэкон — прежде всего схоласт, но он понимал схоластику иначе, нежели Альберт Великий или Фома Аквинский. Он не избежал увлечения теологией, и это важно подчеркнуть, если мы не хотим представить Бэкона в ложном свете [254]. Вторая книга его труда «Opus majus» посвящена определению связей между теологией и философией. В этом вопросе он занял четкую позицию: есть одна совершенная мудрость и одна наука, которая превосходит все остальные, — теология; для ее изъяснения необходимы две науки — каноническое право и философия. Бэкон так же, как Бонавентура, сводил все искусства к теологии, а эта операция предполагает концепцию познания, опирающуюся на учение Августина о просветлении.

Оптические работы Бэкона пронизаны метафизикой света и зрения. Историки науки Нового времени несправедливо критиковали его за «фантастические и мистические» настроения, сквозящие через тело его натурфилософских теорий и математических построений. Но это-то как раз и не странно. Напротив, его огромной заслугой было внедрение физико-математических аспектов в метафизические рассуждения о свете и зрении, транслируемые католической церковью из столетия в столетие.

Миссия Бэкона оказалась настолько удачной, что через несколько десятилетий наука *Перспектива* нашла признание у выдающихся мыслителей своего времени. Ее преподавали в университетах по всей Европе и распространяли сначала в рукописях переписчики в скрипториях, а затем и первые мастера книгопечатания.

Крайний консерватизм в богословии и плодотворные изыскания в естественных науках сочетал английский францисканец, теолог и философ, математик, оптик и поэт Иоанн Пеккам (ок. 1230–1292 гг.). Его вклад в зрительную метафизику состоит в разработке основополагающей проблемы: может ли человек при познании истины обойтись без Бога? От ответа на этот вопрос зависела ценность всей системы августиновских доказательств существования Бога через истину, а также значимость учения о внутреннем Учителе и о внушаемой Им духовности. Сам Пеккам глубоко исследовал эту проблему в «Вопросах о душе», проводя аналогии между чувственным и сверхъестественным зрением. Озабоченный тем, чтобы не потерять ничего из истинных положений философов и не пожертвовать ничем существенным в учении Августина, он приписывает каждому человеку действующий интеллект, снабженный собственным *внутренним взором* и освещаемый интеллигибельным светом Божественной истины. Над этим интеллектом Пеккам ставит высший действующий Интеллект, который есть Бог, поэтому его позиция отличается от позиции Фомы Аквинского, для которого единый действующий интеллект человеческого рода — это не Бог, а некая отдельная мыслящая сущность. Поэтому, если бы пришлось выбирать между св. Августином и Фомой Аквинским, Пеккам предпочел бы первого, поскольку всегда был верен Святым Отцам и наукам.



Пеккам получил образование в монастырской школе Ливз близ Брайтона, продолжил его на факультете искусств Оксфордского университета и около 1250 г. вступил во Францисканский орден. В 1257–1259 гг. он изучал теологию у Бонавентуры в Париже. В 1271 г. возвратился в Оксфорд преподавать теологию в местной францисканской школе, а в 1275 г. был избран провинциалом ордена в Англии. В 1277 г. Пеккам стал лектором теологии при папском дворе в Витербо близ Рима. Благодаря пребыванию там же в 1268–1274 гг. польского коллеги Пеккама — Вителло, автора трактата «Перспектива», а в 1276–1277 гг. — папы Иоанна XXI, написавшего работу «О глазе», Витербо превратился в один из центров оптических исследований. В 1279 г. Пеккам был возведен в сан архиепископа Кентерберийского.

Нет ничего парадоксального в том, что автор трактата по оптике «Общая перспектива», трудов «О сфере», «Теория планет» и «Основы математики» как архиепископ участвовал в проведении в жизнь церковных запретов на обсуждение определенных философских проблем. Теолог в нем был сильнее натурфилософа, а церковные догматы для него — важнее математических теорем. Тем не менее Пеккам был продолжателем научных традиций Роберта Гроссетеста и Роджера Бэкона [251].

ГНОСЕОЛОГИЯ ЗРЕНИЯ И МЕТАФИЗИКА ЗЕРКАЛЬНОСТИ

Глаз души может очиститься и вновь
возгореться, потому что только благодаря
этому мы постигаем истину.

Платон

Многие философы Античности и Средневековья писали о гносеологических (познавательных) аспектах формирования зрительных образов действительности. Процесс формирования субъективных представлений об устройстве внешнего мира рассматривался ими как зеркальное отражение, отпечаток в душе человека. Была разработана цельная метафизическая концепция душевной рефлексии, трактуемой как аналогия оптического эффекта зеркального отражения. На этом следует остановиться подробнее, поскольку строго математические теоремы об отражениях в плоских, вогнутых или выпуклых зеркалах почти всегда связывались с оптической метафизикой света и зрения. В трактатах по оптике Альхазена, Вителло, Бэкона и Пеккама метафизика зеркальности излагалась в рамках концепции зрительных восприятий, основанной еще Блаженным Августином.

13.1. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ЛУЧИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОЗНАНИЯ

Уже в учении Аристотеля о чувственности процесс познания сравнивается со зрением как реализацией зрительной способности. Заслугой Августина можно считать выяснение роли зрения, воли и внимания в процессе познания. Сам механизм зрения он описывал в терминах античной философии, но его учение о механизме опредмечивания образов сознания было оригинальным вкладом в гносеологию. В полемике с языческой мудростью Августин отстаивал возможность получения истинного знания о внешнем мире, данном нам в ощущениях. При всей своей слабости и субъективности чувства не могут быть ложны и несут правдивую информацию; ошибаются не они, а судящий о них разум. То, что нам видится, видится именно таким по причинам, не зависящим от нашего произвола, по причинам объективным.

Проблемы чувственного познания Августин изложил в сочинениях «О количестве души», «О музыке», «О свободной воле» и «О троичности». Душа, по Августину, использует тело для познания окружающего материального

мира. Для этого ей служат пять телесных чувств: зрение, слух, обоняние, вкус и осязание, а также шестое *внутреннее* чувство, осведомляющее душу о наличии или отсутствии различных ощущений. Все телесные чувства, включая зрение, сводятся к осязанию, предполагающему физический контакт органа чувств со своим объектом.

При анализе физиологической основы зрения Августин настаивал на активной роли субъекта. Видение он называет *телесным зрением*, чтобы отличить его от *зрения духовного (умозрения)*. Органом телесного зрения является глаз, сообщающийся с ним нерв и зрительный центр в передней части головного мозга. Передняя часть мозга, будучи пространственно наивысшей частью организма, представляется Августину средоточием наилегчайшего элемента — огненной субстанции, передаваемой отсюда глазам. В соответствии с принципом «подобное познается подобным» причастность органа зрения к световой природе обеспечивает ему возможность зрительного восприятия, которое и есть восприятие света, тени и цвета. Из глаз лучи зрительного света простираются к внешним объектам и как бы ощупывают их, регистрируя их оптические и геометрические свойства и передавая контактно воспринятую информацию по световой материи лучей к зрительному центру. Эта эмиссия зрительной энергии согласно Августину и называется обычно взором или взглядом. По традиции Августин уподобляет ее трости, посредством которой человек, не касаясь отстоящих от него предметов своими органами осязания непосредственно, тем не менее может их ощупывать, ощущать форму их поверхности, степень твердости и т. п. В этом случае трость служит органам осязания тем же, чем зрительный луч служит глазу, который благодаря этому лучу видит там, где самого его нет. Все эти рассуждения вполне укладываются в рамки античных гипотез о механизме формирования видимых образов [76].

Августин тонко подмечает момент активности в зрительном восприятии, зафиксированный также и в современном общеупотребительном языке. Так, слова «взгляд» и «взор» имеют своим основным значением именно обращенность наружу, активное самовыражение субъекта. Мы говорим не «подставить взгляд» или «испытать взор», но «бросить взгляд» и «устремить взор», как будто речь идет о какой-то исходящей от нас энергии или силе. Это свидетельствует в пользу того, что упомянутая теория Плотина — Августина не была простым вымыслом и, во всяком случае, отражала бытовавшие в ту эпоху и даже надолго ее пережившие представления о зрении [48].

В Античности доминирующей идеей всех геометрических и оптических построений была теория «сохранения видимостей», когда любые отражения и преломления рассматривались как иллюзии или обман зрения, а математически выводимые свойства зрительных лучей позволяли объяснить или компенсировать эти искажения [76]. Августиновская трактовка переворачивала основу античной оптики, возвращая ее с головы на ноги. Роль высказываний Блаженного Августина о достоверности самого зрительного аппарата может быть сравнима с произошедшей через несколько столетий оптической революцией Альхазена, отказавшегося принять экстрамиссионную гипотезу глазных истечений и развернувшего лучевые построения от предмета к глазу.

13.2. ЗЕРКАЛЬНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ И ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЕ РЕФЛЕКСИИ

Большее распространение, чем метафора преломления, в Средневековье приобрела метафизическая концепция зеркального отражения, имевшая в неоплатонической и христианской трактовках ряд особенностей. Зеркальный эффект прост, нагляден и общедоступен. В нем соблюдаются геометрические закономерности, обнаружение которых может послужить моделью научного познания. Прямое наблюдение объекта и его восприятие посредством отраженного в зеркале образа становятся аналогиями непосредственного и опосредованного знания. Для зрительного восприятия необходимо, чтобы объект находился перед глазами. Когда объекты видимы в зеркалах, то созерцанию доступны не сами объекты, а их образы. Различия между прямым и опосредованным видением становятся основанием для метафизических обобщений в теологии и философии.

Зеркало, помимо физических свойств, наделяется целым комплексом символических значений: зеркальный образ замещает отражаемый объект.

Зеркала вообще играют особую роль в становлении человеческого самосознания. В возрасте 6–8 месяцев ребенок воспринимает свое отражение как реальность, затем он начинает понимать, что это только образ, и лишь позже осознает, что перед ним его собственный образ [54]. Зеркало оказывается границей символического и воображаемого. Представление о зеркале и зеркальном отражении служит единственным способом адекватного выражения бытия и мышления в философии: «Представление зеркала, заимствованное из зрительных ощущений, должно послужить нам в том, чтобы объяснить с точки зрения теории познания отношение мышления и бытия. Если говорят, что мыслящий дух есть внутреннее око, то это означает больше, чем внешнюю аналогию: это более глубокое эволюционно-историческое родство. Дело в том, что форма процесса мышления совершается в форме процесса зрения» [363].

Исследование средневековой метафизики зеркальности обычно начинают с предвечного «начала путей» Творения, приписываемого в иудейско-христианской традиции Премудрости: «В Премудрости сотворил Бог небо и Землю».

В Книге Премудрости Соломона: «Она есть отблеск вечного света, чистое зеркало действия Божия и образ благодати Его». Граница между Творцом и миром представляется как непроницаемая зеркальная поверхность, разделяющая и связывающая творящее с сотворенным. Зеркальность оказалась основополагающим принципом этой связи и в Античности, и в Средневековье, что позволило средневековым теологам использовать представления, разработанные древними философами.

На формирование средневековой метафизики зеркального отражения основное влияние оказали свидетельства из Посланий апостола Павла к коринфянам: «взгляд через зеркало, гадательно» и «преображение как в зеркале».

Как одно из воплощений Премудрости рассматривается сакральный текст, и прежде всего текст Библии. Метафору «библейский текст — зеркало»

следует понимать так, что Священное Писание служит для очей ума зеркалом, в котором человек открывает свой собственный образ со всеми пороками и добродетелями.

Сочинения Дионисия Ареопагита сравнивают с «зеркалом, не замутненным никаким пятном страстей и способным чисто отражать то, что другие не в силах были умосозерцать».

Блаженный Августин назвал одно из своих произведений зеркалом, открыв новый жанр в средневековой литературе [101].

Формулировка «Сын Божий — зеркало Отца» изложена в «Сумме теологии» Фомы Аквинского. Он полагал, что зеркало Божественного слова, в отличие от материальных зеркал, наделено волей, являясь лишь тем, кому пожелает, и являя в себе лишь то, что желает явить.

Разумная человеческая душа, в понимании Августина, должна быть светом потому, что сотворена по образу и подобию Бога, а Бог есть истина, «Свет истинный, который просвещает всякого человека, приходящего в мир» (Ин. 1: 9). Поэтому Августин одобрительно отзывается о платиновском сравнении души с Луной, которая светит отраженным светом Солнца. В неоплатонической философии Плотина роль последнего играет пантеистически истолкованный объективный разум Нус. У Августина же объективный разум понимается монотеистически. Отраженный земными предметами свет дает нам возможность их физически видеть. Что касается понимания и познания сути предметов, то для этого требуется очищение, которое должно сопровождаться приобщением ума к интеллигибельным предметам, адаптацией его к высшему *отраженному свету*.

Принцип зеркального отражения стал одним из фундаментальных положений средневековой метафизики, в соответствии с которым между различными родами сущего устанавливаются отношения подобия и аналогии. Он включает в себе представления о природе физического (естественного) света и сущности *умного* света, а также соответствующие теории образа и законы геометрической оптики. Он является метафизическим основанием теории истины, поскольку познание трактуется как отраженный сознанием ментальный образ сущего.

Образ сущего может оказаться адекватным или искаженным по отношению к отражаемому предмету, в зависимости от свойств *зеркальной сущности* человеческого ума: являясь посредником в акте познания, она неизбежно привносит в него искажения, требующие учета и корректировки познающим субъектом.

С феноменологической точки зрения зеркальность — это *ничто*, разделяющее оригинал и отраженный образ, говоря иначе, зеркало есть *не-сущее* образа, некий невидимый и *без-образный* идеальный субстрат, необходимый для осуществления поверхностных эффектов воображения. Идентификация отраженного образа с отражаемым предметом есть результат соотношения между ними, для установления которого необходимо постоянное отождествление различного и различение тождественного, т. е. одновременно совпадение с собой и смещение относительно самой же себя некой субъективной *точки зрения* [101].

13.3. АБЕРРАЦИИ ОТРАЖЕННЫХ ОБРАЗОВ И ИСКАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

Зеркальное отражение действительности подразумевает возможность ошибочного восприятия и ложного мнения. Справедливо и обратное утверждение, ибо заблуждения смертных согласно Платону свидетельствуют о существовании «псевдоотражений идеальной парадигмы». Следовательно, существует сфера мнимого, где возможны ложные и истинные мнения, и область подражания мнимому — некое отражение отражения с ничтожной степенью истинности и реальности. Средневековую метафизику зеркального отражения можно рассматривать как развитие античной неоплатонической концепции зеркальности и аллегорическую интерпретацию текстов Нового и Ветхого Заветов [101].

Согласно христианской доктрине иерархическое устройство космоса обособляется телеологически (все сущее в своем стремлении к богоподобию подражает первообразу) и онтологически, поскольку сущее, сотворенное из ничего, отделено *не-сущим* зеркалом от причины своего бытия и всегда должно оставаться лишь его *образом*.

Ключевую роль в метафизической концепции играет понятие *преображения*, интерпретируемое как подражание первообразу и последовательное восхождение от образа к оригиналу [101].

В рамках теории истины познание истолковывается как отражение действительности *зеркальной сущностью* человеческого ума. Возникающий в результате отражения ментальный образ сущего может оказаться искаженным по сравнению с оригиналом в зависимости от *чистоты* и *кривизны* отражающей поверхности. В качестве примера такой концепции истины можно рассматривать трактаты Гроссетеста «О свете, или О начале форм» и «Об истине», анализ которых показывает взаимосвязь теории сотворения мира через *самоотражение* Божественного света и понимания истины как правильного отражения световой сущности вещей.

Западные средневековые теологи классифицировали различные значения зеркальности. Они различали три рода зеркал: зеркала, в которых правое отражается справа, а левое слева (позволяют различить земное и вечное в словах человеческих и поступках); зеркала, в которых правое кажется левым, а левое правым (вводят в заблуждение, заставляя предпочитать земное Божественному); зеркала, переворачивающие верх и низ (склоняют к греховным влечениям).

Можно привести много примеров, иллюстрирующих негативный смысл зеркальности в ее метафизическом христианском понимании (рис. 13.1–13.3). С оптической позиции первые зеркала в действительности невозможны (относятся к сфере идеального), вторые — суть все плоские и выпуклые зеркала (отсюда подозрительное отношение к ним церкви) и, наконец, третьи — вогнутые зеркала, рассматриваемые с дистанций, больших половины радиуса кривизны. «Греховность» последних, по-видимому, объясняется активностью их исследований и поверхностью суждений. Это относится и к модной в Античности теме зажигательных зеркал — формирование действительных перевернутых изображений при отражении от вогнутой поверх-



Рис. 13.1
Миниатюра XV века,
аллегорически представляющая
зеркальный образ смерти

ности привело к тому, что раздел об этих зеркалах у средневековых перспективистов излагался в последнюю очередь.

В заключение отметим вклад в метафизику зеркальности, внесенный видным теологом и философом Николаем Кузанским. Он, в частности, утверждал, что практика богопознания основывается на общей для восточного и западного богословия установке, согласно которой весь тварный мир, все сущее в целом и каждое творение в отдельности, рассматривается как некое зеркальное отображение Божественных реальностей. Зеркала тварного мира формируют сложную структуру отраженных образов, отвечающих средневековым представлениям об иерархическом устройстве мира. Все аспекты взаимодействия Бога и человека Николай Кузанский сформулировал в тезисе «Бог — это абсолютное видение» [57]. Бог сам есть око, все созерцающее в самом себе. Если поле зрения Бога подобно бесконечной зеркальной сфере, отражающей в себе всю совокупность сущего, то человеческое зрение ограничено в своем видении определенным углом зрения. Все созданное творящим и познающим взглядом Божества, полагал Николай, является одновременно умопостигаемым и видимым, но не все доступно человеческому восприятию. Некоторые из видимых объектов, например яркий солнечный свет,



Рис. 13.2
Дьявол, таящийся в зеркале
(с гравюры XV в.)



Рис. 13.3
Инфернальное зеркало
(с гравюры XV в.)

превосходят возможности зрительного восприятия. Другие объекты настолько малы, что не производят изменения в зрении и поэтому непосредственно невидимы, хотя их существование предполагается на основании принципа бесконечной делимости материи. Николай Кузанский утверждал, что Бог отражается в своих творениях так же, как истина отражается в подобии. Поэтому созерцание истины, т. е. постижение единства бытия в многообразии сущего, подразумевает постоянное расширение зеркальной поверхности, позволяя переходить от отраженных образов к отражаемой реальности.

Подводя итог средневековым теориям о познании и чувствовании, можно заключить, что до Альхазена они развивались на уровне общих положений, далеких от поисков реальных механизмов зрительного восприятия. В трактатах отца оптики и его последователей зрительное восприятие объясняется как физическое явление отражения: освещенный объект испускает лучи и производит свое отражение в зеркале глаза. Перед нами активная сила, производящая отраженный образ, а зеркало — лишь пассивная возможность его принятия. По этим позднесредневековым представлениям зрительные впечатления основываются, во-первых, на соразмерности, существующей между вещами, между душой и окружающим миром, и, во-вторых, на метафизической любви, которая пронизывает действительность и соединяет ее в одно целое.

В христианском учении получили дальнейшее развитие метафизические аналоги зеркального отражения, разработанные античной философией. Основное положение метафизики зеркальности базируется на учении о человеке как «образе и подобии Божьем». Универсальная иерархия сущего мыслится как восходящая последовательность зеркал, различающихся степенью совершенства отражаемых ими образов. Принцип зеркального отражения становится основанием зеркальной теории истины, поскольку познание трактуется как некий отражаемый сознанием образ сущего, который может оказаться адекватным или искаженным в зависимости от свойств «живого зеркала» познающего ума [333].

МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЦВЕТОВЫХ ФОРМ

Цвет есть увиденное,
свет же — средство видения.

Г. В. Ф. Гегель

Вопрос о причинах цветового разнообразия окружающей природы был в истории натурфилософии одним из трудных. До XVII в. строились теории об основных цветах и их сочетаниях. О сложном хроматическом составе белого света мало кто догадывался, пытались в основном представить всю цветовую палитру из смешения белого и черного с добавлением одного или двух вспомогательных цветов. До XIX в. установить механизмы формирования радужных цветов, голубизны неба, зелени листвы, окраски моллюсков или драгоценных камней было невозможно ввиду различия оптических эффектов, лежащих в их основе. Даже в наше время на вопрос, почему человек способен различать цвета, не существует однозначного ответа. Философы объясняют это тем, что цвет присутствует в мире как объективная реальность: с цвета начинается наше видение, он — первое, через что природа открывается нашему чувству зрения. Биологи и физиологи объясняют это тем, что нашим предкам необходимо было отличать зрелую пищу от незрелой. В настоящее время этот дар не имеет значения и возможен благодаря совершенному мозгу, который, помимо жизненно необходимых вещей, занимается вопросами, не связанными с проблемой выживания: музыкой и живописью. С точки зрения «биологической целесообразности» нет ответа на вопрос о причине специфической реакции на цвета. Психологи, как обычно, не имеют устоявшегося мнения по этому поводу, склоняясь то в одну, то в другую сторону [71].

Следует отметить связь цветовых впечатлений и освещенности. Один и тот же оттенок может видаться разным в падающем на него свете, в полупрозрачном и в непрозрачном теле. «Живопись не может воспроизвести тех различий, которые мы находим в письменных памятниках Античности, — одеяния богов сверкают как молнии, как пламя огня, как лучи солнца. Прозрачные драгоценные камни образуют вторую ступень, на которую указывает свет, отраженный изнутри; их соотносят с внутренним миром человека или духовным миром. И наконец, непрозрачные тела, как камни и темные одежды,

отражающие свет от своих поверхностей, указывают на третью ступень или натуральную степень, которая проявляется в действии» [61].

Еще в греческой мифологии появились разработанные цветовые схемы, связанные с пантеоном олимпийских богов, человеческими темпераментами и даже гармонией небесных сфер. Афинские философские школы предложили несколько вариантов трансформаций основных цветов в колористические оттенки. Времена расцвета Римской империи характеризовались формализованным порядком окраски одежд, скульптур, зданий в зависимости от социального статуса или достатка их обладателя. Средневековая Европа частично восприняла античное хроматическое наследие, но многие традиции под влиянием христианства изменились.

В Средние века тяготение к цвету и свету принимало контуры научного интереса и подвергалось систематическому описанию с позиций христианской метафизики, несмотря на то что уже в трудах мистиков и неоплатоников цвета фигурируют как метафоры духовных реальностей. Изобразительное искусство Средневековья не знало колористического изобилия последующих веков, ограничиваясь простыми, основными цветами. Средневековье выработало изобразительную технику, которая использовала чистые цвета, пронизанные яркими световыми лучами.

14.1. ХРИСТИАНСКОЕ ПОНИМАНИЕ ЦВЕТА

Наиболее существенное отличие христианского периода цветовой символики от языческого заключается в отказе отождествлять цвета с Богом и мистическими силами и превращении их в атрибуты, качества и знаки [3], [45], [95]. Как гласит символизм, два принципа создают все цвета — свет и тьма. Свет представляется белым цветом, а тьма — черным, но свет не может существовать без огня, символом которого является красный цвет. Поэтому символизм признает два основных цвета: красный и белый. Красный — это символ святой любви, белый — символ святой мудрости; из этих атрибутов Бога — любви и мудрости — берет начало происхождение Вселенной. Черный цвет рассматривается как отрицание цветов и соотносится с духом тьмы.

Вторичные цвета — комбинации двух основных. Желтый цвет происходит из красного и белого как символ откровения любви и мудрости Господа. Синий тоже происходит из красного и белого, но в других пропорциях, и означает святую мудрость жизни, Святого Духа или дыхание Бога как символ духа правды. Зеленый цвет есть союз желтого и синего; он указывает на проявление любви и мудрости, символизируя милосердие и возрождение души деяниями.

Некоторое представление о христианских теориях цветовых сочетаний дают гармонические круги (см. цв. вкл., ил. 27) и уже упомянутые в третьей главе арк-диаграммы. Подобные построения были характерны и для мусульманской доктрины Божественного света (рис. 14.1). Структура диаграмм универсальна, в ее схему укладываются гармонические сочетания в музыке и астрономии. Разбиение октавы на квинту и кварту, пропорции золотого сечения, относительные размеры планетарных сфер — все это в Средние века изображали вложенными полуокружностями определенных диаметров.

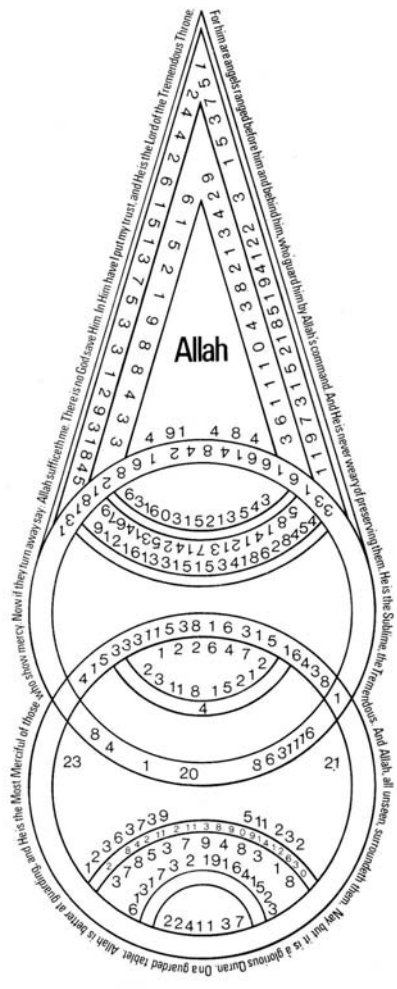


Рис. 14.1
Иллюстрация математической основы исламской метафизики света

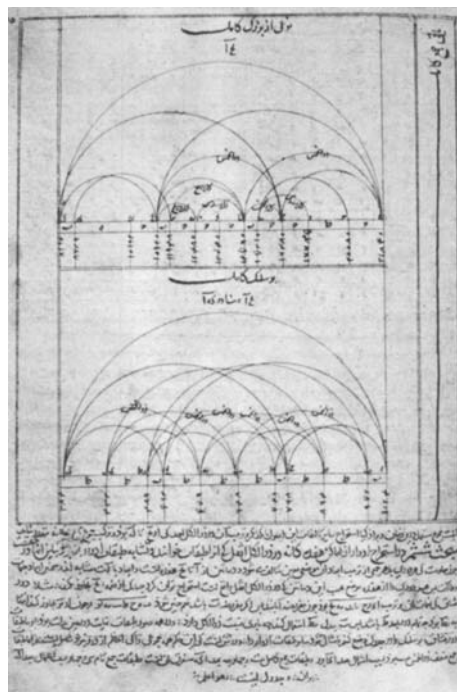


Рис. 14.2
Мусульманский вариант арк-диаграмм Боеция

Такое представление наглядно и методически оправданно, в том числе для изображения особенностей хроматизма.

Из цветовой диаграммы (рис. 3.12) видно, что базовые белый и черный цвета стоят в крайних оппозиционных точках. Вторичные цвета отличаются относительными долями смешения двух основных, а красный, как единственный цвет, выделяемый схоластикой из этого промежуточного множества, соответствует делению отрезка «белый — черный» в пропорции золотого сечения. Идея построения арк-диаграмм для музыкальной гаммы или цветовой палитры стала одним из вкладов Средневековья в передачу знания или эмоционального состояния (рис. 14.2).

Согласно христианским канонам Бог сотворил мир, в том числе свет (цвет), но сам Он не сводится к свету. Свет — это только одна из Его ипостасей.

Средневековые богословы, например Августин, восхваляя свет и цвет как проявление Божественного, указывают, что цвета могут быть обманными (от Сатаны), и отождествление их с Богом представляет собой заблуждение и даже грех. Связи между цветом и мистическими силами в Средневековье уже нет. Божественная сущность постигается внутренним, трансцендентным созерцанием, а не внешней яркостью и красотой. Только белый цвет остается неизблемым символом святости, чистоты и духовности. Он один отражает все световые лучи; он есть то единство, из которого проистекают все цвета и тысячи оттенков мира. Бог облачен в белое. Мудрость, как эманация, исходящая от Всемогущего Бога, есть чистота вечного света, незапятнанное зеркало деяний Бога и образ Его великодушия. Ангелы на небесах — в белых одеждах, как и святые, претерпевшие за веру. Белый цвет означает чистоту и непорочность, освобождение от грехов. Он не имеет в христианстве негативных значений. Даже белый саван означает переход в иной, *лучший* мир.

Установление характера связи *видимого* и *невидимого* — это вопрос о том, какой ценностью видимые цвета обладают в познании мира и обладают ли вообще. Если между видимым и невидимым мирами стоит непроницаемая преграда, то все, что предстает нашему обычному зрению, — лишь иллюзия, не имеющая смысла и значения. Но «цвета этого мира заключают в себе некое духовное содержание». Так существование Божественной реальности становится гарантией гносеологической ценности наших образов восприятия. Степень родства между обычными цветами и цветами метафизическими определяется «конкретной семантикой этих земных цветов и структурой их значений» [61]. Духовные цвета являются небесными *прототипами* земных цветов, *завесами* первоначального Божественного света в его нисхождении и сиянии в низших мирах [3]. Дионисий Ареопагит писал, что земные *копии*, или *образы*, выполняют функцию *отражения* и основываются на небесном оригинале, Бог стремится к *самораскрытию*, к *проявлению* своей сущности, и частью этого процесса являются цвета. Земные цвета сравнивались с небесными: наши земные цвета являются лишь *бледным отражением*, мертвыми земными *прообразами* радуги небесных цветов [4].

Средневековые теологи полагали, что земные, видимые физическим зрением цвета не имеют самодовлеющего значения, как и любые иные вещи или явления этого мира. Они вторичны, являются следствиями, формами проявления неких потенций, стремящихся воплотиться в образах и вещах видимой реальности. *Духовно видимые* цвета являются частью Божественного света, т. е. появляются как самостоятельное качество до своего физического проявления. Они же в процессе воплощения Бога в природе становятся неотъемлемой частью физического *мира*, не только физически видимого света. «Цвета — праматерия, метафизическая субстанция материальных тел», — утверждал Исаак Ньютон в XVIII столетии.

Духовный цвет в Средневековье имел прямое отношение к духовному развитию человека, обозначая степень этого развития (святости) и *место* в небесной иерархии. По Дионисию Ареопагиту, «Божественный свет разделяется на отдельные цвета в соответствии со способностью восприятия тех, кто относится к этим уровням». По Мейстеру Экхарту, «сама душа становится божественно окрашенной там, где слегка касается Бога». По Сведенборгу,

когда человек после смерти вступает в Царство Небесное, его вечное «я» распознается ангелами по окраске его ауры [3].

С точки зрения христианской догматики земные цвета — это копии, образы, отражения, подобию, модификации, связанные с *небесными* прообразами и прототипами, «краски здешнего, видимого неба, получившие условное, символическое значение неба потустороннего» [86]. Согласно религиозной традиции цвета имеют гносеологическую ценность как образы и символы, связующие человека с миром. В видимом мире цвет рассматривается как метафизическая субстанция физических тел, неотъемлемая часть физического мира. Цвета появляются на этапе формообразования, конкретизации отвлеченных потенций как первая качественность, первый схематизм материи [95]. Они имеют предметное содержание, определенное их символической функцией. Это содержание указывает на качество и ценность того, что оно выражает, т. е. предполагает закономерный эмоциональный отклик. Культура рассматривается не как создатель, а как «хранитель, проявитель и интерпретатор» естественных значений цвета и его роли в человеческой жизни [3].

14.2. ХРОМАТИЧЕСКИЙ КОД СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Параллельно с разработкой метафизики цвета складывался хроматический код Средневековья, устанавливавший, например, что белый, красный и зеленый цвета являются благожелательными, в то время как черный и желтый означают скорбь и раскаяние [71]. Красные розы, цветущие среди шипов, уподоблялись непорочным девам и мученикам, блистающим в окружении своих преследователей. Цвета становились автономными и самоценными сущностями. Символика цвета, которая еще не забыта и в наши дни, занимала важное место в отношениях между влюбленными [100].

Золото и желтое в христианском мире были символами Веры. Святой Петр, опора церкви и хранитель святого учения, изображался в золотисто-желтых одеждах с жезлом или ключом в руке.

Средневековая символика цветов противоречива. В различные периоды у того или иного цвета доминировали положительные или отрицательные значения. Так, в раннем христианстве превалировало положительное значение желтого цвета как Святого Духа, Божественного Откровения и просветления. Позднее тот же цвет приобрел негативный смысл: его стали считать символом измены и лживости. Например, во Франции желтой краской мазали дверь изменников, в желтых одеждах изображен Иуда на окнах церкви в Шампани.

Красный цвет в христианстве олицетворяет кровь Христа, пролитую за спасение, и его любовь к людям. Пурпурный считается царственным цветом. Христос и Дева Мария облачены в красное и синее. Члены королевской семьи даже в трауре носили пурпурные одеяния, только более темных оттенков с преобладанием синего. Однако красный цвет может означать эгоизм, ненависть и даже символизировать смерть. На многих средневековых миниатюрах можно видеть гробы, покрытые красными мантиями.

Синий свет, простирающийся из красного, в христианстве представляет собой огонь небесный; его значение — «небесная любовь к правде». В таинст-

вах он олицетворяется как крещение огнем. Синий цвет, истекающий из белого, указывает на правду Веры; он связан с живительными водами Библии или духовным крещением. Синий цвет в соединении с черным вводит в мир космогонии, Духа Господа, движущегося в хаосе; он олицетворяет природное крещение [71].

Фиолетовый и синий цвета считались мистическими, трансцендентными. Богослов и философ Николай Кузанский называл фиолетовый «гармонией противоречий». Знаком кардинальского достоинства был фиолетовый аметист. Для христиан синий (голубой) цвет символизировал небо, вечность, настраивал на смирение, благочестие, выражал самопожертвование и кротость. Лазурный свод — это мантия, окутывающая Святость.

Зеленый цвет означал жизнь, весну, цветение природы и юность. Он доминировал в христианском искусстве. Святой Иоанн носит зеленое одеяние. Вместе с тем зеленый имел значения коварства, искушения, дьявольского соблазна. До сих пор считается, что один глаз Сатаны зеленого цвета. Отсюда, возможно, идет поверье о зеленых глазах как знаке завистливости и жадности. «У ревности зеленые глаза», — отмечает Шекспир в «Отелло».

К черному относились как к цвету зла, греха, дьявола, ада и смерти. Черный, смешанный с другими цветами, придает им противоположное значение. Как символ зла и лжи, черный является не цветом, а отрицанием всех оттенков и того, что они представляют. Если красный цвет олицетворяет святую любовь, то, смешанный с черным, он становится символом ужасной любви и ненависти. Вместе с тем в значении черного сохранился аспект ритуальной смерти, смерти для мира. Поэтому черный стал цветом монашества.

Розовый цвет берет свое начало из красного и белого и означает любовь и мудрость, символ возрожденного человека, который воспринял слово Святое. Люди клали розы на могилы и называли эту церемонию Розалией.

Коричневый и серый были цветами простолюдинов. Они означали нищету, безнадежность и убогость.

В Средневековье цветам приписывались магические свойства в алхимии, где их делили на *высшие* и *низшие*. К *высшим* относили цвета триады: белый, черный и красный. Они символизировали три стадии *Великого Превращения* — первичную материю (черный), ртуть (белый) и серу (красный), — результатом которого было создание *философского камня* (золотой). Черный соответствовал стадии брожения, гниения, затемнения и раскаяния; белый — состоянию просветления, восхождения, откровения и прощения; красный — ступени страдания, возвышения и любви. Золото означало славу. Главным цветом, порождающим все остальные цвета, в этой триаде считался черный. Оставшиеся цвета входили в группу *низших*, или *вторичных*. В алхимии существовала систематика химических элементов со специальными цветовыми наименованиями. Так, серебро именовалось «белой королевой» [61].

Изучение цветов имело не только магическую, но и практическую направленность. Типичный средневековый сюжет — диагностирование заболевания по цвету мочи (рис. 14.3). Составлялись трактаты, в которых приводились описания ее цветовых оттенков, характерных для тех или иных недугов. Для получения университетского медицинского диплома требовалось различать не менее сотни таких окрасок, причем кандидат должен был уметь

корректировать свой диагноз в зависимости от принятой пациентом пищи (рис. 14.4). Истоки этой традиции надо искать у мусульманских последователей галеновской медицины. На рисунке 14.5 из латинской рукописи XIII в., сохранившейся в библиотеке Авиньона, как раз показана сцена изучения урины легендарным ар-Рази по методике, описанной Авиценной в «Каноне».

В исламском мире цветовой символизм несет в себе отпечаток влияния Древнего Востока и Запада, сохраняя при этом свою самобытность. Запрещение исламом изображения людей и животных привело к тому, что цвет стал одним из главных выразительных средств в мусульманском искусстве. Изолляция женщин на Востоке придала цветовой символике новое значение — цвета начали заменять разговорную речь: например, цвета одежды или букетов стали своеобразным языком любви.



Рис. 14.3
Средневековый врач исследует цвет урины для определения диагноза (иллюстрация из французской рукописи XIV в.)



Рис. 14.4
Обучение медицинским методам исследования цветových оттенков урины. Средневековая миниатюра, конец XV в.



Рис. 14.5
Ар-Рази у постели больного исследует цвет урины. Из медицинского трактата XIII в. (Библиотека Авиньона)

Цветовые орнаменты, причудливые узоры восточных ковров представляют собой систему символов, отражающих представление мусульманского мира о земной и небесной жизни.

В Коране свет и наиболее светлые и яркие цвета являются символами блага, Божественного начала, но, как и в христианстве, не отождествляются с Богом. Белый выражает чистоту и духовность. В историях «Тысячи и одной ночи» он называется «лучшим из цветов». Коран дает мистическое объяснение красок, которые раскрывает нашим глазам земля: «Цвета — это ярко выраженные знаки тем, кто умеет думать».

Золотой (желтый) означает славу, успех и богатство. Он считается также лечебным цветом.

Красный для мусульман не является противоречивым цветом: он означает божественность, магические свойства и большую жизненную силу. Поэтому на Востоке всегда особенно высоко ценились драгоценные камни красного цвета — рубины и гранаты. Считалось, что они придают владельцу силу, энергию, бесстрашие и страстность. В поэтическом творчестве мусульман широко используются эпитеты с символами красного цвета. Например, красная роза — знак страстной любви:

Чару, полную любви, сердце, пей до дна, как роза,
И в одежду облачись, чтоб была красна, как роза.
У любви, как у свечи, золотой язык багрится,
И грешна твоя вина, если глух пред ним, как роза.

Авиценна

Глубоко почитаем мусульманами священный зеленый цвет, ассоциирующийся с зеленым знаменем Пророка. Этот же цвет символизирует оазис, природу, жизнь и отдых. Драгоценные камни зеленого цвета означают жизненную стойкость, счастье и благополучие.

Синий и фиолетовый мусульмане, как и христиане, ценят за мистический характер и трансцендентность. Это цвета созерцания, приобщения к Божественной сущности. Фиолетовый цвет отражает обманчивость земной жизни.

Черный цвет в исламском мире несет в себе не только негативное содержание. В знойные дни всегда желанна тень. Священный камень храма Кааба — черный. Таков же цвет земли. Аббасидские халифы имели черные одежды и знамена. Вместе с тем черный сохраняет ассоциации со злыми замыслами и делами.

Серый и коричневый цвета означали для мусульман несчастья и нищету, пыль и прах, напоминая смертным о бренности их существования.



С цветами исламского мира связана одна легенда, которую нам рассказали при посещении индийского художественного музея Салар Джанга в Хайдарабаде в 2006 г. Этот музей хранит экспонаты, относящиеся к периоду до XVII в. В экспозиции представлены в том числе и керамические блюда, изготовленные в Китае. По преданию, они подавались на стол одному мнительному радже. Он очень боялся быть отравленным врагами, поэтому индийские мастера нанесли на эти блюда особое покрытие, которое изменяло свой цвет при соприкосновении с ядами. Сегодня синтезирован ряд жидкокристаллических

ских материалов, обладающих подобным свойством, но вряд ли они были известны во времена раджи. Наши попытки выяснить у хранителя и смотрителей музея подробности о покрытии старинных блюд не увенчались успехом, и его тайна так и осталась для нас нераскрытой.

14.3. ЗАПЕЧАТЛЕННЫЙ ОБРАЗ И ЦВЕТА ИКОНОПИСИ

Нет ничего прекраснее личности, которая в таинственной мгле внутреннего делания отстояла муть греховных тревог и, осветленная, дает увидеть в себе мерцающий, как драгоценный маргарит, образ Божий.

Павел Флоренский

Особой метафизической темой Средневековья явилось новое понимание зримого образа, которое сформировалось в процессе канонизации иконографии. В цветовой палитре иконы отразились все метафизические концепции цветовых форм: «...параллелизм между творчеством по существу и творчеством по подобию; иконопись есть метафизика, как и метафизика — своего рода иконопись словом» [95].

Этапы создания иконописного изображения подробно описаны о. Павлом Флоренским:

- 1) подготовка доски и ровной белой гипсовой поверхности (левкаса);
- 2) *назнаменованье* — нанесение сначала углем, а потом иглой контуров будущего изображения — «отвлеченная схема воплощения»;
- 3) золочение фона — «процесс воплощения начинается с позолотки света: золотой свет бытия сверхкачественного, окружив будущие силуэты, проявляет их и дает возможность отвлеченному ничто перейти в ничто конкретное, сделаться потенцией»;
- 4) заполнение контуров пространства краской — «однако это не есть еще цвет в собственном смысле этого слова, это только не тьма, чуть что не тьма, первый проблеск света во тьме, первое явление небытия из ничтожества. Это — первое проявление качества, цвет, еле озаренный светом»;
- 5) роспись — углубление складок одежды и других подробностей той же краской, но более светлого тона: «внутреннее [наполнение] контура, переходя из отвлеченного, становится конкретным: творческое Слово явило отвлеченную возможность»;
- 6) пробелка — в три приема краской, смешанной с белилами, каждый раз светлее предыдущего, выдвигаются вперед освещенные поверхности;
- 7) ассист — штриховка листовым или *твореным* золотом;
- 8) письмо лица в том же порядке, что и *долично*.

Окончательно цвета оформляются на пятом, шестом и седьмом этапах метафизического онтогенезиса и служат для оформления конкретного образа из абстрактной возможности, что есть *первое проявление качества*. Цвета — это *уплотненный* свет, доступные зрению формообразующие качества, результат действия формообразующей энергии того же изначального Света. Такова метафизическая роль цвета в становлении сущего [108].

То же относится к одежде святых на православной иконе: «Выражаясь несколько цветисто, но наиболее точно, можно назвать их одежду тканью из их подвигов; это не метафора, а выражение той мысли, что духовным под-

вигом святые развили у своего тела новые ткани светоносных органов, как ближайшую к телу область духовных энергий, и в наглядном восприятии это расширение тела символизируется одеждой» [95].

В православной иконе изначальный свет изображается золотом как веществом, эстетически несовместимым с обычной краской. Золото здесь выступает как свет, который *не-цвет*. Этим символизируется, что вечный Свет трансцендентен даже по отношению к тому, что изображено на иконе. Само изображенное, в терминах Флоренского, — *образ нисхождения* из горнего, невидимого. Собственно цвету Флоренский уделяет минимальное внимание — как краске или *затемненному* свету, но его описание процесса рождения иконы раскрывает место цвета в структуре мира или в процессе его сотворения: «В этих изобразительных приемах ясно видятся основоположения общечеловеческой метафизики и гносеологии, естественный способ видеть и понимать мир, в противоположность искусственному, западному, который выразился в приемах этого искусства». По Флоренскому, «писание иконы, этой наглядной онтологии, повторяет основные ступени Божественного творчества, от ничего, абсолютного ничто, до Нового Иерусалима, святой твари».

В Средневековье вклад в описание проблемы зримых образов состоял в том числе в традиции поклонения святым образам — иконам. На первый взгляд может показаться странным — какое отношение дебаты о почитании икон имеют к истории оптики как науки? Тем не менее метафизические по своей сути высказывания Отцов Церкви по этому вопросу оказали влияние на натурфилософские изыскания в формировании визуальных впечатков реальных объектов. Это не только пример воплощения августиновской формулы «наука — служанка теологии», но и наглядная иллюстрация взаимопроникновения двух типов мышления — интуитивного и рационального.

Рассуждения об истечениях, эманациях, энергетических лучах, исходящих от святых икон и проникающих в глаза и души верующих, оказались для средневековых ученых одним из аргументов в пользу отказа от экстремистских зрительных гипотез Античности. Антропоморфные идеи Эмпедокла, Евклида и Птолемея о распространяющихся из глаз зрительных лучах были заменены на представления о формировании под воздействием физического света образов окружающего мира, движущихся к глазу наблюдателя и образующих на роговице и хрусталике видимые отпечатки. Метафизика боговдохновенных образов, освещенных высшим светом и действующих на внешние оболочки души, сыграла значительную, если не решающую, роль в средневековой оптической революции. Это отчетливо видно при сравнении высказываний Блаженного Августина о зрительных лучах и работ перспективистов XII–XIII вв. Знакомство последних с аргументами Альхазена не перечеркивает вышесказанного: предметное мнение ученого-мусульманина оказалось целиком в русле онтологических концепций христианства. Как только в эпоху Ренессанса антропоцентризм начал теснить абсолютный авторитет церкви и возродился интерес к античным учениям, на некоторое время восстановились и представления о конусах прямолинейных зрительных лучей, бьющих из глаз наблюдателя во все стороны. С этими взглядами даже в XVII в. приходилось бороться Декарту и Кеплеру.

Для лучшего понимания особенностей средневековых зрительных теорий поучительна история борьбы *иконоборцев* и *иконопочитателей*. Несколько столетий с высоких амвонов и императорского престола Византии в адрес создателей икон звучали обвинения в новом идолопоклонстве. Вопрос о святости рукотворных икон или об их тождественности идолам был отголоском дискуссий по метафизике света. Проходившее с переменным успехом соперничество иконоборцев и иконопочитателей отражало боязнь вновь впасть в грех поклонения. Эта борьба прямо соотносилась с учеными спорами о направленности зрительных лучей — от предмета к человеку или наоборот. В каких случаях изображение объекта содержит в себе все (или некоторые) свойства самого изображаемого предмета? Как преобразованное (при создании иконы и при молитве перед ней) *боговдохновенное* изображение через глаза проникает в душу молящегося? Философские трактаты содержат подобные рассуждения, а их авторы ссылаются на Священное Писание, богословские труды и греческие рукописи по оптике.

История иконопочитания восходит к Эль-Амарнскому периоду в Египте. У греков *икона* означает «образ». Так назывались вызывающие зрительное ощущение субстанции, отлетающие от предметов и попадающие в глаз. Во всем мире слово «икона» вошло в употребление для описания живописного изображения на деревянных досках сцен и людей из Евангелия. В Ветхом и Новом Заветах оно употребляется также в значении «изображение идола или зверя», встречаясь в стихах, осуждающих идолопоклонство или предостерегающих от него. Но в таких случаях это слово стоит во множественном числе.

Первым иконописцем считают евангелиста Луку, создавшего прижизненный образ Богородицы. Гильдии Св. Луки в средневековой Западной Европе впоследствии объединили в одно сообщество живописцев, витражистов, стекольщиков и очковых дел мастеров.

Каноническое изображение апостола Луки, запечатлевающего на своем полотне Богородицу с младенцем, стало довольно распространенным сюжетом мировой живописи (рис. 14.6).



Рис. 14.6

Св. Лука, пишущий Мадонну.

Мартин ван Хемскерк, 1532.

Музей Франца Хальса, Харлем, Нидерланды

Изображения Христа, Богородицы, святых, библейских сцен известны в христианстве начиная со II в. К IV в. стены христианских храмов повсеместно украшались живописными образами. Василий Великий в слове, посвященном памяти мученика Варлаама, призывал художников изобразить подвиги святого. Иоанн Златоуст писал о распространении изображений Мелетия Антиохийского, а Феодорит Кирский сообщал о портретах Симеона Столпника, продаваемых в Риме. Несмотря на практику изображения лиц и событий Священной и церковной истории, появлялись и первые возражения против употребления икон. Так, Евсевий Кесарийский отрицательно высказывался о желании сестры императора иметь икону Христа. Он объяснял свою позицию не ветхозаветным запретом, а тем, что Божественная природа неизобразима. Однако уже в этом двояком и иногда двусмысленном употреблении слова «икона» — в значении мысленного образа, запечатленного в изображении, и *без-образного* идола — заключалась возможность возникновения разных воззрений на икону, а также иконопочитательных и иконоборческих тенденций.

Причины иконоборчества были различны: внешние и внутренние (по отношению к церкви), теоретические (богословские) и практические, эстетические и психологические, политические и экономические. Причины государственного характера были связаны с борьбой императоров и знати против монашества — носителя и защитника иконопочитания, против монастырей, которые своим существованием и числом сдерживали военные, административные и экономические реформы. Восточное (Исаврия, Армения) происхождение императоров обуславливало их монофизитское или монофелитское воспитание, проникнутое духом вражды к сложившимся к тому времени в Византии церковным обрядам. Сильным оказалось влияние мусульманского Востока, дозволявшего в качестве украшений храма лишь растительный или геометрический орнамент и надписи, а также запрещение икон в христианских храмах, что практиковалось в соседних с Византией мусульманских районах.

В 723 г. халиф Иезид отдал приказ уничтожить иконы во всех христианских храмах подвластных ему стран. После этого мусульмане стали преследовать иконы и их почитание. Поэтому иконопочитатели иногда называли своих противников «по-сарацински думающие, рассуждающие, мудрствующие». Восприятие икон и иконопочитание считалось одним из главных препятствий для обращения в христианство евреев и мусульман, к чему стремился зачинатель иконоборчества на государственном уровне император Лев Исавр. Нельзя не учитывать и влияния иудейской религии через синагогу и Ветхий Завет, запрещающий во второй заповеди изготовление кумиров и изображений, поклонение и служение им.

Осуждение вызывали также суеверия и идолопоклоннические элементы в самом иконопочитании. Верующие нередко приходили в храм лишь для того, чтобы приложиться к иконам и попросить у них заступничества и помощи, не обращая внимания на богослужение и священников. При крещении детей иконы брали в восприемники вместо крестных отца и матери; иконам исповедовались; Святые Тайны перед принятием клали на икону, чтобы причаститься как бы из рук святого; соскобленную с икон краску под-

мешивали в евхаристическое вино и т. п. Сказывалась и незаконченность выработки иконописью собственного художественного языка, заметное влияние на иконы той эпохи элементов античной живописи, выросшей на почве греческой религии и мифологии. Художественный язык икон доиконоборческого периода был эмоционален: на мозаиках VII в. лица «ангелов дышат такою чувственностью, что невольно ставилась под знак вопроса святость иконы». Пользоваться «греческим искусством для христианских целей — казалось возвращаться к язычеству». Необходимо учитывать и богословские причины, т. е. усиление в самой церкви иконоборческих тенденций, ставивших под сомнение необходимость икон и их почитания на основе теоретических богословских построений [95].

Датой начала реальной борьбы против икон считается 726 г., ознаменованный уничтожением икон, издевательствами над их почитанием, физическими гонениями на иконопочитателей. Поводом к этому явилось вулканическое извержение в Средиземном море, вызвавшее многочисленные бедствия, разрушения и гибель людей. В этом увидели гнев Божий и стали выяснять, чем он вызван. Было объявлено, что гнев Божий вызвало иконопочитание византийцев. Чтобы начать гонения, императору хватило устной поддержки нескольких церковных иерархов. Государство всей своей мощью обрушилось на почитание икон за 28 лет до богословского «опровержения» иконы. Только в 754 г. официальное церковное «оформление» этого акта взял на себя иконоборческий собор. На нем иконоборцы выступили с открытым забралом, обосновав свое отрицание иконы, что привело к теоретической полемике между иконопочитателями и иконоборцами.

Большое влияние на мышление этой эпохи оказали творения св. Дионисия Ареопагита с их акцентом на идее невыразимости (неизобразимости) на человеческом языке, человеческими средствами всего того, что относится к сущности Бога. Эта идея была «самой навязчивой и модной идеей времени» [95]. У Дионисия изложено полное и самобытное, но вполне церковное православное учение о символе и образе. Иконоборцы, таким образом, брали себе в союзники неверно истолкованного св. Дионисия. Восстановить и развить учение Ареопагита удалось «опоре православия и иконопочитания» Иоанну (Мансуру) родом из Дамаска, подданному арабского халифа, ставшему известным как св. Иоанн Дамаскин.



О жизни Иоанна Дамаскина известно немного. Родился он в конце VII в. в семье сборщика податей, впоследствии сменив на этом посту отца. Еще до начала иконоборческой смуты Иоанн удалился от двора и затворился в обители св. Саввы. В монастыре он вел замкнутую жизнь, занимаясь писательством. Самым значительным его сочинением явилось «Три защитительных слова», где он выступил как ярый иконопочитатель. Иоанн утверждал, что икона играет роль знака, который сам лишен собственного содержания и приобретает его только в отношении с означаемым. Икона приобретает свое значение постольку, поскольку существует такая реальность — Бог, но она при этом и необходима «вследствие того, что мы не в состоянии созерцать бестелесных предметов без соответствующих нам красок» [33]. При этом мы видим изображение «как бы через тусклое стекло, гадательно». В этом состоит мировоззренческая позиция, известная как средневековое символическое мирозерцание.

Вот первые определения изображения, данные Иоанном в VIII в.: «Икона, без сомнения, есть подобие, и образец, и оттиск чего-либо, показывающий собою, что изображается. Но, во всяком случае, изображение не во всех отношениях подобно первообразу. Всякое изображение делает ясными скрытые вещи и показывает их. Через посредство икон мы распознаем сокрытое, чтобы возлюбить прекрасное и отвратиться и возненавидеть зло». В мире, пронизанном символическими соответствиями, икона, по мысли Иоанна Дамаскина, занимает особое место. Она не просто указывает на причину своего существования — Бога, но и непосредственно несет в себе его образ. Где место тому, что так зримо представляет Бога? Иоанн отвечает: «Место иконы в храме, ибо что больше может обратить ум верующего к Богу — изображение финиковых деревьев и виноградных лоз с порхающими между ними птицами (как это было в храме, построенном царем Соломоном) или изображение Того, ради Которого мы и приходим в Храм?» Такое понимание икон и смысла иконопочитания было принято в борьбе за их защиту.



Деятельность Иоанна Дамаскина как активного защитника икон вызвала противодействие со стороны иконоборцев. Средством борьбы с ним стала клевета: император Лев написал письмо халифу, обвинив Иоанна в нарушении верноподданнических отношений. Это было очень серьезное обвинение, и было велено отрубить Дамаскину руку. Легенда рассказывает, что после его усердных молитв перед иконой Богородицы рука чудесным образом была исцелена.

В православной иконографии известна икона Богородицы «Троеручица», сюжет которой связан с этим событием (рис. 14.7).



Рис. 14.7
Икона Троеручица.
Конец XIV в.
(Москва, Государственная
Третьяковская галерея)

Иконоборческий собор дал иконопочитателям фактический материал, на основе которого и в ответ на который были выработаны постановления VII Вселенского собора 787 г., сформулировано православное учение об иконе и дано богословское обоснование иконопочитания. Запад придерживался золотой середины, осуждая как иконоборчество, так и *излишнее* иконопочитание. Канонизированное иконопочитание стало общим догматом православной и католической церкви, установленным на этом соборе, как и сама практика почитания икон. Основную мысль иконопочитания можно сформулировать так: честь, воздаваемая образу, переходит на Первообраз. В соответствии с этой идеей образ Личности (ипостаси) есть действительно (по исходящему от него

действию — энергии) сама Личность, хотя и не тождествен ей и имеет иное естество (дерево и краски). Церковь всегда подчеркивала, что иконы — всего лишь изображения святых, почитание икон допустимо при условии, что «твердо соблюдается различие между молением Господу и поклонением рукотворным предметам». Иконопоклонникам в конце концов удалось полу-

чить большую поддержку в обществе, и в 843 г. Михаилу III пришлось разрешить изображения святых в религиозном искусстве.

Метафизическая аргументация об истечениях Божественной энергии от святых икон, отточенная в ходе опровержений иконоборческих тенденций, сыграла существенную роль в истории натурфилософских представлений о формировании зримых образов. В связи с этим следует согласиться с мнением священника Георгия Флоровского, который, хотя и по другому поводу, но вполне справедливо написал: «Убеждение, что старые христианские споры не имеют значения для современности, — чистая иллюзия. На самом деле они продолжают и повторяются в спорах наших дней» [33].

14.4. МЕТАФИЗИКА И СОВРЕМЕННАЯ НАУКА

Что такое Бог? Он есть длина, ширина, высота и глубина.

Св. Бернар Клервоский

Средневековые метафизические концепции, утвердившие иерархию световых форм и принципы прямого или опосредованного воздействия зримых образов на чувствующую душу человека, оказались той методологической основой, на которой была построена вся средневековая оптика, или — в латинской интерпретации — наука *Перспектива*. Математическое содержание, наполнившее оптические трактаты Альхазена, Вителло, Бэкона и Пеккама, почти полностью было античным и арабским; вклад латинян был минимален. Тем не менее одухотворенные христианским миропониманием ученые-монахи осуществили важный с исторической и научной точек зрения синтез языческого и мусульманского «мудрствования» с метафизикой света и зрения. Результат этого синтеза сказался почти сразу. В эпоху Возрождения возникло учение о линейной перспективе, создатели которого подчеркивали его оптическую основу. Плеяда ученых-оптиков XVI–XVII вв. подхватила метафизику света и зрения как неотъемлемую часть оптического знания.

Эту оптику вынесли на своих плечах мыслители, вышедшие из одной среды — ордена иезуитов. Де Доминис, Шейнер, Мерсенн, Кирхер, Шотт, Марци, Гримальди — все они были иезуитами или воспитывались у них. Розенбергер в «Очерках по истории физики» не без основания усматривает у всех них «фамильное сходство» [66]. Они делали новые наблюдения и открытия, но их подходы и приемы оставались старыми. Например, трактат Анастасиуса Кирхера «Великое искусство света и тени» (схоластическое исследование о природе и действии света в подлунном мире и о его причинах) был напечатан в 1646 г., через девять лет после «Диоптрики» Декарта, т. е. уже во времена *новой оптики*. Тем не менее автор в совершенстве знал и использовал древние метафизику и натурфилософию; в его трактате сильны традиции средневековой науки *Перспективы*. При чтении отдельных разделов «Великого искусства» кажется, что из XVII в. мы перенеслись в XIII в. и читаем трактат Роджера Бэкона «Об умножении образов». В конце труда Кирхера есть раздел «Метафизика света и тени» [235]. Все это существенно для уяснения того фона, на котором рождались оптические построения XVII в.

Средневековые концепции отражения в контексте рациональной философии привели к формированию понятий *рефлективного* и *спекулятивного* мышления. Этимологическая связь этих латинских терминов с феноменами зеркального отражения (*reflexio* — отражение; *speculum* — зеркало) давала возможность использования катоптрических метафор и оптических аналогий в рационалистическом учении о *естественном свете разума*. Поскольку *свет разума*, как и физический свет, распространяется и отражается, «правила для руководства ума аналогичны законам геометрической оптики. Причем, в отличие от античной и средневековой концепции истины, научное познание истины в новой доктрине будет направлено не на осмысление собственного положения вещей, но на такое представление предметов, которое предполагает перспективное искажение их образа с данной *точки зрения*» [101]. В этом одновременно проявляется глубокая связь метафизической оптики с философией и изобразительным искусством. *Точка зрения* задавала некоторую перспективу, т. е. некую траекторию обзора и просмотра сущего в целом. Указанные представления легли в основу рационалистической концепции зеркальности, разработанной философами последующих столетий — Лейбницем, Кантом и Гегелем.

С переходом к Новому времени свет начал рассматриваться не как абсолютная самоценность, но в качестве *относительного коррелята вещей*. Этот сплав теологии, философии, этики и науки распался на составные части. На смену метафизике света в ее средневековом представлении пришел набор не связанных между собой направлений в восприятии, изучении и толковании феномена света. Главными из них считаются следующие направления [47].

Естественнонаучное, включающее позднюю средневековую и ренессансную геометрическую оптику, разработанную Вителло, Бэконом, Пеккамом и менее известными учеными — Домиником де Клавазио, Генрихом Гессенским, Блазием Пармским. Сюда же следует отнести *новую оптику*, связанную с именами Джованни делла Порты, Франческо Мавролика, Иоганна Кеплера, Марци из Кронланда, Франческо Марии Гримальди, Христиана Гюйгенса, Оле Ремера, Исаака Ньютона. Примыкают к этому направлению космогонические концепции Рене Декарта и учение о цветах Иоганна Гёте.

Теологическое, представленное в лице Григория Синаита и Григория Паламы на Востоке и Николая Кузанского на Западе, иллюстрировавших взаимосвязь и взаимопроникновение высшего и низшего порядков символической фигурой, изображающей скрещение двух пирамид: света и тьмы. Развитие этого направления сегодня происходит весьма интенсивно, причем современные теологи оперируют концепциями, почерпнутыми из специальной и общей теорий относительности, а также понятиями из других физических теорий: Большого взрыва, струн, тахионов и т. п.

Мистическое, в рамках которого возникают тайные общества иллюминатов и само понятие иллюминизма как герметического варианта метафизики света и соответствующие теории, например учение об *искре души* как глубинной основе, соединяющей душу с Богом, разработанное Иоганном Экхартом, Иоганном Таулером и Генрихом Сузо.

Эстетико-онтологическое, зародившееся в виде зрительно-световых интерпретаций метафизики в творчестве Данте Алигьери и Марселио Фичино,

продолженное в теоретических работах и художественных произведениях Леонардо да Винчи, Лоренцо Гиберти, Леона Альберти и Альбрехта Дюрера. Высшие достижения в этом направлении следует искать в натурфилософских сочинениях Шеллинга и Гегеля.

С развитием физической оптики современные философы продолжают черпать из ее достижений новые модели познания мира. Теоретик Режи Дютей, например, разделяет мир на три части: досветовую (наш мир, брадионы), световую (люксоны) и сверхсветовую (тахियोны). Согласно его теории наше сознание — поле неизвестных частиц, тахионов. Иллюстрацией этого служит голограмма. Мозг — интеллектуальный фильтр, обрабатываемый лазерным лучом, исходящим из мира тахионов. Окружающие нас объекты реальности — голограммы. Вселенная — видимость.

Что касается формирования, восприятия и осмысления зрительных образов, то здесь не осталось места для применения метафизических концепций. Но если размышлять над этими проблемами глубже, то при всех современных достижениях офтальмологии, разработке оптики и физиологии глаза, мы, тем не менее, не можем объяснить экзотические видения, изредка нас посещающие, или обычный процесс превращения каких-то цветных пятен и световых контуров во вполне реальный облик нашего соседа или соседского бультерьера. Понимание механизма воздействия внешних образов-икон на человеческую психику еще далеко от своего исчерпания. Современная наука о формировании оптических изображений — *иконика* — только начала очередной виток познания. Она вернула слову «икона» это забытое значение и приступила к его углублению с использованием современного математического аппарата распознавания образов, пространственной фильтрации и психофизического моделирования.

Новым в трактовке света является понимание того, что мы воспринимаем не простые числовые различия в частотах световых волн, а скорее логарифмические, пропорциональные различия между частотами, реагируем на изменения, дифференциалы, которые являются основой для пронизывающих мир геометрических спиралей. Мы можем понимать такие пропорциональные отношения как своего рода геометрию восприятия. При постижении внешнего источника познания мы признаем, что он непрерывным образом связан с нашими внутренними способностями восприятия и познания и что мы постигаем именно эту связь, а не сам внешний объект. Поэтому, как утверждают многие, XXI в. пройдет под знаком нового развития метафизики света [44].

ЛАТИНСКАЯ НАУКА ПЕРСПЕКТИВА

Красота есть согласие пропорций.

Роберт Гроссетест

15.1. У ИСТОКОВ ПЕРСПЕКТИВЫ

В раннем Средневековье не существовало *Перспективы* или *оптики* как отдельной научной дисциплины, но это не означает, что ученые не имели представлений о природе света и механизме зрения. Эти представления рассматривались в других областях — в космологии, метеорологии, психологии и метафизике. В космологии — потому что главными источниками света были небесные тела; в метеорологии — так как наиболее яркие световые феномены, такие как радуга, молнии, гало и, по представлениям древних, кометы, наблюдались в атмосфере; в психологии — поскольку она доказывала преимущество зрения среди пяти внешних чувств; в метафизике — из-за вездесущности света и соответствующих аналогий в работах христианских метафизиков. Свет фигурировал в теологических дискуссиях благодаря своему участию в акте Творения, библейским световым метафорам и тесной связи теологии и метафизики. Кроме того, свет и зрение были интересными природными феноменами, которые являлись предметом описаний в справочниках, энциклопедиях и книгах чудес.

В V в. Блаженный Августин заявлял, что свет, исходящий из глаза, является чем-то вроде пламени, образующегося в печени, которое оттуда попадает в мозг, а из мозга в глаза «через очень тонкие каналы»; этот свет падает на видимые объекты и делает их видимыми: «Вероятно, лучи, которые излучают наши глаза, являются чем-то вроде излучаемого света, способного сжиматься, когда мы смотрим на то, что расположено вблизи глаз, и расширяться, когда мы смотрим в направлении объектов, расположенных на расстоянии. Даже будучи сжатым, луч зрения не перестает видеть удаленные предметы, хотя и видит их менее четко, чем когда взгляд простирается до них. Этот свет, присутствующий в направлении того, кто видит, является настолько слабым, что без помощи внешнего света мы не можем ничего увидеть».

Исидор Севильский в VII в. утверждал, что «глаза также представляют собой источники света. Их называют источниками света потому, что свет исходит из них, либо потому, что они изначально содержат внутренний свет, либо потому, что они вторично излучают во внешнюю среду полученный свет для того, чтобы осуществлялось зрительное восприятие». На начальном этапе схоластику удовлетворяла трактовка Евклидом механизма видения

через экстремиссию зрительных лучей. Ученые XII в., в том числе Аделард Батский и Гильом Коншский, предпочитали точку зрения Платона, но и они разделяли убеждение, что зрение является результатом излучения пламени из глаза. Именно они передали в руки латинских схоластов большинство античных и арабских трактатов, посвященных свету, цвету и зрению. Сами Аделард и Гильом находились под влиянием переводов, сделанных в конце XI — начале XII в. Их работы положили начало передаче оптического знания и привели к созданию науки *Перспективы*.

Единодушие Средневековья в вопросах теории зрительного восприятия исчезло с появлением переводов, которые донесли до Запада взгляды греческих и арабских ученых. Теория экстремиссии получила подтверждение в работах Евклида, Птолемея, аль-Кинди и последователей Галена, хотя при внимательном рассмотрении обнаружилось расхождение между этими авторами по ряду пунктов. Возникли теории интрамиссии, поддержанные влиятельными авторитетами и подкрепленные убедительными аргументами.

Среди ранних переводов была «Оптика» Евклида, переведенная в середине или во второй половине XII в. Существовало не менее трех независимых ее переводов — один с греческого и два с арабского. Более сложным был переведенный в те же времена трактат «Оптика» Клавдия Птолемея. Его сложность объяснялась дефектами переведенной на латынь арабской версии, греческий оригинал к тому времени был утерян. Во второй половине XII в. Герардом Клермонским были сделаны переводы работ о зрении аль-Кинди и Тидеуса, пополнившие собрание оптических трудов. В конце XII или в начале XIII в. анонимный переводчик познакомил латинян с трактатом Альхазена, ставшим важнейшим источником для латинского мира [77].

Труды Аристотеля и его комментаторов (Авиценны и Аверроэса) выделили явления света и зрения среди других философских рассуждений. Оставались доступными античные труды, в том числе платоновский «Тимей». К нему обращались не только по вопросам механизма зрения, он также давал пример для неоплатонической традиции оптической мысли. Медицинские работы Хунайна ибн Исхака, переведенные Константином Африканским, следовали в русле галеновских взглядов на строение глаза и механизм зрения. «Канон врачебной науки» Авиценны расширил представления об анатомии и физиологии глаза.

Переведенные оптические работы Евклида, Птолемея и аль-Кинди открыли возможности математического подхода к оптике в то время, когда труды Альхазена еще не были доступны. Тексты Аристотеля, Авиценны и Аверроэса сохраняли определенное значение для решения тех вопросов, которые были скорее физическими и психологическими, нежели математическими. Как и в других областях знаний, западная схоластика оказалась наполненной новыми сведениями, содержащими противоречивые тенденции и идеи. Проблемы, конфронтационные по отношению к западной, христианской, схоластике, требовали гармонизации и переработки интеллектуального наследия в единую универсальную натурфилософию.

Среди западных ученых, предпринявших первые подобные шаги в оптике, были два оксфордских схоласта — Роберт Гроссетест и Роджер Бэкон. Гроссетест был разочарован ущербностью оптических знаний в имевшихся

источниках, и его собственные работы можно рассматривать как «ценность начального вдохновения» [129]. В свою очередь Бэкон, подвигнутый трудами Гроссетеста и оснащенный оптической литературой из греческой древности и средневекового ислама, определил курс развития оптического знания в русле новой науки *Перспективы*.

У Гроссетеста имелись сведения о теории интрамиссии, которую, по всей видимости, он рассматривал всерьез, в то же время сохраняя свою верность теории визуального пламени Платона. Гроссетест полагал, что истина содержится в обеих теориях. Он защищал теорию испускания от тех, «кто рассматривает часть, а не целое», полагая, что «излучение лучей зрения» не является вымышленным. С другой стороны, он считал теорию проникновения скорее неполной, чем неверной: «Видение осуществляется не только путем получения чувствительной формы без материи, но и путем получения самой формы в соединении с возникающим излучением, исходящим из глаза».

Возможности метода иерархии световых форм Гроссетест иллюстрировал на примере чередования цветов в радуге. Он утверждал, что Вселенная по Божьей воле родилась из световой точки, из которой радиальные лучевые эманации во все стороны произвели последовательность расширяющихся мировых сфер. Своим учением Гроссетест закрепил представления о свете как всеобщей *форме телесности*.

Более глубокий анализ теории зрительного восприятия был предпринят в следующем поколении Альбертом Великим, защищавшим теорию проникновения Аристотеля от соперниц — в частности, от интрамиссионных теорий атомистов и теорий истечения Платона, Евклида и аль-Кинди. Тем не менее Альберт не возражал против расширения теории Аристотеля принятием элементов геометрической оптики, заимствованных у Авиценны, Аверроэса и Альхазена, а также знаний по анатомии из учения Галена.

Иной была реакция Роджера Бэкона, современника Альберта Великого. Бэкон был первым христианским ученым, в распоряжении которого оказалось подробное изложение учения Альхазена. Неизвестно, ни когда, ни каким образом Бэкон получил доступ к «Сокровищу оптики», но из его оптических трудов видно, что теория Альхазена оказала на него глубокое влияние. Он понимал широту задач оптики, признавая, что она касается математических, физических, анатомических, физиологических и психологических вопросов.

Бэкон следовал оптической теории Альхазена, адаптируя вариант интрамиссионной теории видения почти во всех ее деталях. Он был вдохновлен успехом альхазеновского математического анализа света и зрения и эффективно продвигал математические подходы. Однако, как и многие его современники, Бэкон был убежден, что греческие и мусульманские авторитеты находились в фундаментальной согласии, и старался показать, что почти все, кто писал о свете и зрении, были единого мнения. Это означало, что он должен был примирить оптические учения в такой степени, что различия между Аристотелем, Евклидом, Альхазеном и неоплатониками исчезали.

Какими бы значимыми ни оказались оптические принципы, усвоенные Бэконом, наиболее важное из выведенного им на основании источников — это способ восприятия лучей, исходящих от протяженного объекта. Вслед за аль-Кинди и Альхазеном Бэкон сделал вывод о том, что свет независимо

распространяется во всех направлениях, передаваясь каждой точкой видимого объекта. Такая концепция была чужда античной оптике. Впервые сформулированная аль-Кинди и впоследствии примененная Альхазеном, она была призвана раскрыть один из принципов геометрической оптики, играя критическую роль в теории лучеиспускания и теории видения.

Бэкон не мог соперничать с математической утонченностью Альхазена. Но то, что он смог передать, было сделано очень правдиво и с большим пониманием. Другие ученые, по-видимому, вдохновленные его примером, выбрали сходный подход к изучению оптики. Таков Вителло, автор большого труда «Перспектива», представляющего собой энциклопедию оптики, в котором он пытался продолжить все работы в области оптики, проводившиеся ранее греками и арабами. Таков и Иоанн Пеккам, написавший учебник «Общая перспектива», в котором, обнаруживая знание предмета, он резюмировал основные положения оптики. Благодаря этим источникам и оригинальным греческим и арабским текстам, существовавшим в переводе на латынь, западные ученые узнали, как можно трактовать оптику, применяя математику.

Через Вителло и Пеккама альхазеновские оптические теории, включая физико-математико-физиологический подход, стали доминантой всей западной мысли (рис. 15.1). Когда теории света и зрения появились в натурфилософии XIII в., они почти везде и всегда извлекались из традиции, заложенной Альхазеном и Бэконом.

15.2. ЭТИМОЛОГИЯ ТЕРМИНА ПЕРСПЕКТИВА

В Античности оптика ускользала от попыток простой классификации. Древние вынуждены были уклоняться от этой проблемы, имея дело отдельно с геометрическими, философскими и физическими аспектами оптики. Аристотель включил оптику в число *смешанных наук*, что привело к ее расположению в трудах ряда средневековых мыслителей среди механических искусств. Ее рассматривали как науку, менее полезную по сравнению с астрономией и музыкой, поэтому она была исключена из квадривиума семи наук свободных искусств. Историческая ирония заключается в том, что во второй половине XIII в. оптика появилась как глава математических наук. Вот что писал Иоанн Пеккам: «Среди физиков-исследователей свет есть предмет, наиболее притягательный для студентов. Среди великолепия математики она (оптика) уверенно демонстрирует высшее возвеличивание исследователей.

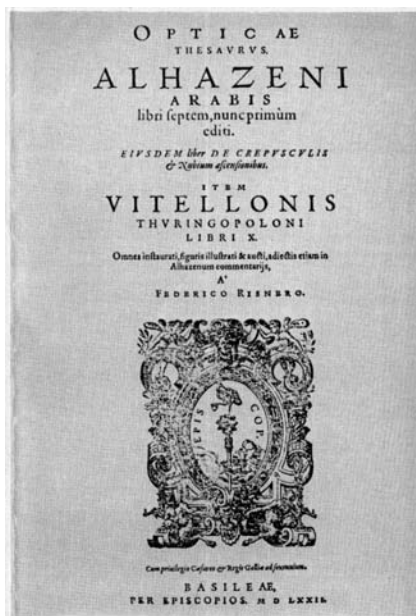


Рис. 15.1
Фронтиспис издания 1572 г.,
объединившего в одном томе трактат
«Сокровище оптики» Альхазена
и «Перспективу» Вителло

Следовательно, оптика (*Перспектива*), в которой демонстрации продумываются через использование радиальных линий и в которой результат находится не только физически, но и математически, украшенная цветами и физики, и математики, справедливо предпочитается всеми учителями человечества» [363].

В математическом подходе к оптической науке задавала тон «Оптика» Евклида: начиная с комплекса аксиом, его трактат состоит из 58 теорем, содержащих геометрические доказательства с рисунками. Евклид сводит оптическую составляющую к анализу геометрических лучей, исходящих из глаза наблюдателя и имеющих форму конуса. Этот конус лучей и послужил основанием математической теории *Перспективы*.

Геометрический подход к изучению света и видения претерпел дальнейшее развитие в других трудах: «Катоптрике», приписываемой Псевдо-Евклиду, «Оптике» Птолемея, работах аль-Кинди и совершенно особым образом — в монументальном труде Альхазена «Сокровище оптики». Хотя ни один из этих трактатов не может рассматриваться как чисто математический по содержанию, в каждом из них математика занимает важное место. Если читатель не мог оценить красоту математического доказательства, то приведенные геометрические фигуры представлялись взгляду перспективными и при поверхностном рассмотрении. Даже те, кто делал оговорки, касающиеся возможного применения математики при изучении природы, не могли возражать против использования геометрического подхода в оптике.

Скенографический раздел оптики, являясь практическим приложением теорий зрительного восприятия, дал импульс к уточнению и развитию теории зрительных лучей и зрительных углов [76]. Античные рецепты нелинейных корректировок сохранились до наших дней в первую очередь благодаря трудам римского архитектора Витрувия. Из них родилось учение о зрительной перспективе, вошедшее составной частью в теорию живописи и в оптику Ренессанса. Стоит помнить, что латинский термин *перспектива* изначально был переводом греческого названия науки *оптика*.

Сильное впечатление на западных ученых произвела арабская *аль-Маназир*. После знакомства с математическими трудами арабов, в первую очередь Альхазена, христианские мыслители попытались совместить геометрические рассуждения греков и арабов с собственными изысканиями, базировавшись на Священном Писании. Одно из центральных мест в этом наследии занимали скенографические (перспективные) построения. Визуальные коррективы греков — энтазисы колонн, криватуры стилобатов, правила передачи трехмерного пространства на плоскости — были основаны на оптических законах и зрительных конусах. Это не могло не привести западных схоластов к идее их философского переосмысления, но с учетом той реформы, которую уже совершили арабские оптики.

После прочтения произведений Евклида и аль-Кинди у Роберта Гроссетеста возникла идея пойти дальше в геометрическом определении *Перспективы* и разработать геометрическую программу для анализа лучеиспускания.

В трактате «О радуге» Гроссетест предпринял попытку определить предмет новой науки: «*Перспектива* есть наука, основанная на визуальных фигурах, и, подчиняясь внутренней логике, включает в себя науку о лучевых

линиях и поверхностях, поскольку излучение исходит от Солнца, звезд и других светящихся тел». Впоследствии Гроссетест подразделил понятие *Перспективы* на несколько основных частей в соответствии с разными способами распространения света: прямолинейным, отраженным и преломленным. Он предложил манифест «геометризации» природы посредством геометризации света и других форм распространения лучей: «Отныне следует выражать все причины естественных явлений при помощи линий, углов и фигур, так как невозможно объяснить их иначе. Это очевидно по следующей причине. Естественный фактор увеличивает его воздействие от самого источника света до его адресата, независимо от того, действует ли он на чувства или на материю. Такое воздействие иногда называется словом «species»⁶, иногда — изображением, но как бы оно ни называлось, это одно и то же; и фактор оказывает одинаковое воздействие на чувства и на материю или на свою собственную противоположность, как тепло оказывает одинаковое воздействие на чувство осязания и на холодное тело».

В этот момент рождается как бы новая наука *Перспектива*, а на самом деле — преобразившаяся и встроенная в средневековые концепции оптика. Творцами ее считаются Роберт Гроссетест, его ученик Роджер Бэкон и их последователи — плеяда перспективистов — Вителло, Пеккам, Альберти, Брунеллески и Леонардо да Винчи.

Гроссетест первым использовал термин *Перспектива* применительно к латинизированному и дополненному метафизикой варианту греческой оптики. В его понимании, математическая наука, оперирующая зрительными лучами, углами, конусами и пирамидами, должна была объяснить многое, если не все, в рациональном мире. А ее дополнение в части иерархии световых явлений и возможностей сверхчувственного зрения позволяло распространить перспективистское знание и на область иррационального.

Перспектива — латинское слово, означающее «видение сквозь», так описывал художественную перспективу Дюрер. Хотя это слово встречалось еще у Боэция, оно не обладало отчетливым смыслом, означало, по-видимому, начальную геометрию и было образовано от *perspicere* в значении «видеть ясно». В том же значении оно использовалось Гроссетестом и Бэконом, поскольку сводилось к буквальному переводу греческого термина *оптика*. Толкование Дюрера исходит из определения Нового времени и конструкции картины как сечения зрительной пирамиды [59]. Эта более поздняя трактовка иногда оспаривается на том основании, что итальянский язык превратил *perspettiva* в *prospettiva*. Первое напоминает о *punto dove percoteve l'occhio* Брунеллески, т. е. о точке, на которую падает взгляд, — точке схождения ортогоналей, или *точке зрения*. Второй термин указывает лишь на взгляд перед собой [380]. Слово «*prospettiva*» использовали теоретики искусства, придерживавшиеся метода сечения, например Пьеро делла Франческа. Принятию термина *prospettiva* способствовала и фонетическая причина, вызванная сложностью сочетания согласных *rsp*.

Центральным пунктом того, что ученый мир начал именовать наукой *Перспективой*, стали свет, зрение и глаз. Правила перспективы в узком

⁶ По Гроссетесту, есть форма внешняя, образ (*species*) и форма внутренняя (*forma*).

смысле были включены в общую теорию зрения. Отражения и преломления рассматривались как особенности световых или зрительных лучей, возникающие в результате их столкновения с непрозрачными или пропускающими поверхностями. Натурфилософия Средневековья подтвердила, что наука *Перспектива* стала достаточно гибкой, чтобы охватить различные сферы. Бэкон рассматривал в предисловии к «Перспективе» познавательные аспекты зрения.

Интересные лингвистические подробности содержит исследование, посвященное наименованию трактата перспективиста Вителло, знакомого с трудами Альхазена и Бэкона [376]. Заголовки печатных изданий этого трактата, появившихся в XVII в., разнятся грамматически. Танстеттер — Апиан (1535) дают греческий заголовок *Οπτικε* с одновременным переводом на латынь — *Perspectiva* (существительное женского рода). Фридрих Риснер (1572) употребляет в названии латинизированную форму греческого слова — *Optica* (существительное женского рода). Сам Вителло озаглавил свое произведение *Perspectiva* (именительный падеж множественного числа среднего рода, что можно установить по форме родительного падежа «*perspectivorum*», встречающейся в тексте). Риснер был осведомлен об этом и в тексте своего издания сохранил и даже выделил слово «*Perspectivorum*», напечатав его с заглавной буквы и с разрядкой. Применение множественного числа адресуется нас к дословному переводу не с греческого, а с арабского: по смыслу слово «*аль-Маназир*» означает науку о *зрительных восприятиях*.

15.3. ДЕБАТЫ О МЕТОДОЛОГИИ ПЕРСПЕКТИВЫ

Западным схоластам пришлось иметь дело с наследием, включавшим в себя противоречивые тенденции. Соглашаясь с тем, какие разделы должна содержать новая дисциплина, все переведенные трактаты предлагали различные методологии. Первым, кто пытался разрешить это противоречие, был Гроссетест. Образование, полученное в школьной традиции XII в., ввело его в мир античной философии и познакомило со взглядами Платона на связь математики и природы. Гроссетеста особо интересовали труды, в которых рассматривалась связь между физикой и математикой. Одним из уроков, извлеченных им из этих источников, было то, что оптические вопросы должны разрешаться математически. Это становится очевидным из его трактата «О линиях, углах и фигурах», который не является оптическим трудом, но предстает введением в общую физику истечений. Гроссетест следует за аль-Кинди в представлении природных действий в схеме *излучения и поглощения силы*, сводя их к геометрическим интерпретациям. Свет и зрительные истечения он рассматривает как примеры *испускания силы*, из чего следует, что геометрические правила применимы не только к истекающим силам вообще, но и к их оптическим проявлениям.

Гроссетест начинает свой трактат с заявления о всеобщности геометрического анализа: «Весьма полезно рассматривать линии, углы и фигуры, поскольку это важно для понимания натурфилософии... Все случаи природных явлений могут быть выражены в терминах линий, углов и фигур, в противном случае невозможно уловить их объяснения. Это видно из следующих

рассуждений. Природный агент сам по себе умножает свою силу, распространяясь к реципиенту, будь то орган чувств или неживая материя. Эта сила иногда называется образами, иногда изображениями, и это все та же суть, независимо от названия».

Гроссетест придерживался той точки зрения, что зрительная сила, исходящая от предмета и поступающая к наблюдателю, распространяется по прямым либо по ломаным линиям, причем в первом случае эта сила заметно больше. Ломаные линии образуются при отражениях или преломлениях. Отражение от гладких поверхностей осуществляется по закону равных углов. Преломление может приближать зрительные линии к перпендикуляру или удалять их от него, в зависимости от направления распространения и от относительных плотностей обеих сред, через границу которых проходит излучение. Гроссетест обсуждал *вторичное излучение*, происходящее также вдоль прямых линий. Наконец, он описывал различные действия, к которым приводит формирование зрительных пирамид. По его мнению, геометрические аргументы перспективиста должны объяснять факты, изложенные физиком.

Гроссетест вновь, но более абстрактно обратился к метеорологической тематике в своих комментариях ко «Второй аналитике» Аристотеля, рассуждая о каузальном (причинном) и фактическом знании и о подчиненности одного другому. В первом случае речь идет о познании общих принципов, основанных на постулатах, теоремах, доказательствах, а во втором — о конкретном знании физического мира. Гроссетест говорит о взаимоотношениях и соподчиненности *Перспективы* и геометрии: «Каузальное знание и фактическое знание различаются тем, что первое обретается через одну науку, а второе — через другую. И эти науки, вырабатывающие то и другое знание, относящиеся к одному предмету, таковы, что имеют между собой связь подчиненности. Например, *Перспектива* — наука, посвященная лучевым (зрительным) линиям и телам, — подчинена геометрии, которая посвящена линиям и телам вообще».

Безусловно, Гроссетест не сводил оптику к геометрии. Он был хорошо знаком с физическим анализом света и зрения, данным в трудах Аристотеля «О душе» и «О чувственном восприятии», и с его рассуждениями в «Физике» и «Второй аналитике», посвященными связям между физикой и математикой. Как полагал Гроссетест, установление причинных связей, приводящее к высшему роду знания, доступно в физике только или в основном через математические основания. Однако есть связи более низкого порядка, которые не имеют математических объяснений, но отражают физическую реальность. Он считал, что свет имеет физическую природу, заслуживающую анализа, и не верил, что его физическая природа может быть объяснена исключительно геометрическими рассуждениями [260].

Несмотря на осознанную необходимость математизации оптики, Гроссетест мало что сделал для ее реализации. В трактате «О линиях, углах и фигурах» он обсуждает распространение силы по прямым, отраженным и преломленным линиям, устанавливает закон равных углов для отражения, описывает преломление лучей и их прохождение из одной среды в другую. В труде «О радуге» открывает *закон половинного угла* в преломлении, в соответствии

с которым угол между лучом и перпендикуляром в более плотной среде в полнину меньше того же угла в среде менее плотной. Гроссетест утверждает, что радуга возникает за счет преломления. Если это и является примером *геометризации*, то лишь элементарного свойства. Линии распространения определены, их ориентация по отношению к отражающим и преломляющим поверхностям задана особым характером, но никаких геометрических аргументов не предлагается.

Источники, подвигнувшие Гроссетеста к математизации оптики, были доступны и Альберту Великому (ок. 1200–1280 гг.). Он знал позицию платоников, читал работы Евклида и аль-Кинди и был знаком с «Сокровищем оптики» Альхазена. Тем не менее переходить в «математическую религию» отказался.



Немец по рождению, Альберт получил образование в Падуе и в доминиканской школе Болоньи. В начале 1240-х гг. он был послан в Париж для изучения теологии и в 1245 г. стал ее магистром. Следующие три года занимал одно из двух профессорских мест доминиканцев в Парижском университете. У Альберта учился Фома Аквинский, и когда в 1248 г. учитель был вызван в Болонью для реорганизации доминиканской школы, Фома последовал за ним. Альберт одним из первых предложил различать философию и теологию по методологическому основанию и считать философию способной без помощи теологии судить о реальности.

Вопреки представлениям Платона о подчинении физики математике, Альберт подчеркивал, что обе дисциплины автономны и каждая основана на собственных принципах. Перефразируя «Метафизику» Аристотеля, он писал: «Мы должны остерегаться ошибки Платона, который утверждал, что природные вещи базируются на математических, а математические — на Божественных так же, как третьестепенная причина определяется второстепенной, а та — первостепенной. Следовательно, он говорил, что причины природных объектов лежат в плоскости математической, что полностью неверно».

Исключая подчиненность физики математике, Альберт Великий не отрицал их совместной эффективности. Конечно, замечал он в работе «Об ощущениях», аспекты видения могут быть изучены посредством *Перспективы*, но она не может быть полноценной без рассмотрения вопросов, принадлежащих геометрии. Более того, Альберт включал части перспективистской доктрины в собственный анализ. Например, защищая аристотелевскую интрамиссионную теорию зрения от критиков, он применял зрительные конусы или пирамиды в традиции Евклида: «Должно быть замечено, что любой взгляд имеет место в виде пирамидальной фигуры, основание которой расположено на видимом объекте, а вершина — в центре кристаллической жидкости. Поскольку глаз сферичен, то все линии, соединяющие основание зрительной пирамиды с ее вершиной, перпендикулярны любым поверхностям глаза, включая хрусталик. За счет их кривизны эти линии рисуются как радиусы некоей сферы. Далее, этих пирамид столько же, сколько мы наблюдаем видимых предметов, поскольку свет распространяется от видимых объектов к *зрительной силе* в форме видимых образов; и когда глаз поворачивается то

туда, то сюда, пирамиды перемещаются в соответствии с чередованием зрительных образов».

Здесь Альберт одним из первых проводит операцию синтеза, которая в дальнейшем приведет к развитию оптического знания. Он берет от экстремиста Евклида геометрический аппарат зрительных линий (удаляя рассуждения об истечениях из глаз) и дополняет ими качественные, описательные доктрины античных и средневековых сторонников зрительных теорий, основанных на попадании излучения в глаз.

Альберт также использовал концепцию зрительных пирамид для объяснения особенностей зрения, замечая, что если видимый объект расположен близко к глазу, то он формирует широкую пирамиду, края которой падают наклонно на глаз (со значительным отклонением от оси). Тот же объект, но более удаленный, формирует более узкую зрительную пирамиду, части которой становятся ближе к центральной оси.

Тем не менее Альберт не позволяет математике влиять на попытки разрешить действительно важные проблемы. Обсуждая зрительные пирамиды, он отказывается от геометрии и обращается к физической природе пирамиды, поскольку она не *световое тело*, как полагали древние, но *прямолинейное измерение* прозрачной среды, через которую проникает взгляд.



Не следует преувеличивать разницу в подходах Гроссетеста и Альберта, хотя первый полагался на математизацию оптики, в то время как другой от нее отказался. Гроссетест подчеркивал, что математизация имеет свои пределы, а Альберт использовал ее там, где она казалась полезной. При желании, у Альберта можно найти даже больше геометрической оптики, чем у Гроссетеста. Разница лежит в природе их приверженности математике. Гроссетест был пропагандистом программы математического обучения. Альберт, чувствуя чрезмерный энтузиазм во взглядах Гроссетеста и платоников, сам нередко впадал в противоположную крайность.

Гроссетест и Альберт Великий были первыми, кто попытался в конце XII — начале XIII в., интегрируя языческие и мусульманские математические знания с христианской метафизической доктриной, наметить контуры новой науки о свете и зрении. Непосредственно за этими двумя мыслителями следовали классические средневековые перспективисты.

СРЕДНЕВЕКОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВИСТЫ

Самые жаркие уголки в аду оставлены для тех,
кто во времена величайших нравственных
перемен сохранял авторитет.

Данте Алигьери

Роджер Бэкон, Иоанн Пеккам и Эразмус Вителло, продвинувшись дальше своих предшественников, заложили принципы и структуру латинской *Перспективы*, средневековой прародительницы истинной оптики, которая появилась в XVII в. Иногда, правда, утверждают, что истинный основатель *Перспективы* Роджер Бэкон, известный своими обширными научными трудами, был «в королевстве оптики лишь студентом исламских традиций и верным последователем Альхазена» [340]. Известно и обидное прозвище «обезьяна Альхазена», которое дал перспективисту Вителло оптик конца XVI в. Джованни делла Порта. Не отрицая заметного влияния арабской оптики на западных схоластов, позволим себе усомниться в справедливости столь резких оценок. Анализ оптического наследия Бэкона позволяет утверждать, что он основал *Перспективу*, используя собственные оригинальные положения. В свою очередь служивший при папском престоле Вителло составил оптический компендиум под влиянием присылаемых в Рим бэконовских работ.

16.1. РОДЖЕР БЭКОН И СТАНОВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ



Рис. 16.1
Роджер Бэкон

Яркая и противоречивая личность Роджера Бэкона (рис. 16.1) до сих пор вызывает глубокий интерес историков и споры вокруг его наследия.

Будучи одним из немногих ученых, в совершенстве владевших греческим и арабским языками и в подлинниках читавших сочинения Античности, он преподавал на факультете искусств Парижского университета, где стал одним из ведущих лекторов по натурфилософским работам Аристотеля. После 6–8 лет пребывания в Париже он с 1251 по 1257 г. преподавал в Оксфорде и получил почетный титул «доктор Мирабилис» («удивительный доктор»). Прожив около 80 лет, Бэкон создал три значитель-

ных трактата: «Opus majus» («Большой труд»), «Opus minus» («Малый труд») и «Opus tertium» («Третий труд»), написанные по поручению папы Климента IV. На первый взгляд жизнь Бэкона была непрерывным восхождением к вершинам знаний и жизненному успеху. На самом деле это была история непрерывной борьбы с консервативными силами внутри церкви, история взлетов и падений, гениальных догадок и фатальных заблуждений.



Бэкон родился между 1210 и 1214 гг. в окрестностях Илчестера в Дорсетшире в состоятельной английской семье. Учился в Оксфорде и Париже, где его преподавателями были, возможно, Роберт Гроссетест и Адам Марш. Хронологический факт для такого предположения дает сам Бэкон, утверждая, что видел своими глазами Александра из Гэльса, который умер в Париже в 1245 г. Больше неопределенности в описании путешествий Бэкона в конце 1240 — начале 1250 г. Все, что мы действительно знаем, так это то, что в 1251 г. он был в Париже свидетелем одного из восстаний. Примерно в 1257 г. Бэкон присоединился к францисканцам. Причины этого шага неизвестны, но в середине XIII в. не было ничего необычного в том, что человек со степенью магистра вступает в один из монашеских орденов. Бэкон был, безусловно, привлечен престижем Францисканского ордена, ученостью и набожностью его членов, а также примерами предшественников, таких как Адам Марш, которым он восхищался. Скорее всего ученый верил, что, став монахом, сможет расширить свои исследования и даже осуществить намерения по реформированию христианства. После вступления в орден Бэкону пришлось пережить болезненный период: наставники и братья держали его «в закрытом дворе и никого к нему не пускали». Возможно, он нарушал правила францисканцев, сочиняя и распространяя свои труды без предварительного позволения, а также искал покровительства вне ордена.

Незадолго до 1265 г. он был отправлен обратно в Париж, где настойчиво испрашивал патронажа со стороны кардинала Ги де Фульке. В феврале 1265 г. кардинал взошел на папский престол как Климент IV, и Бэкон, воодушевленный таким поворотом судьбы, повторил свою просьбу о поддержке. Ошибочно считая, что некоторые из произведений Бэкона уже завершены, Климент попросил прислать ему эти работы для «решения критических проблем, к которым сейчас приковано наше внимание». Бэкон активно принялся за дело, но быстро закончить начатое не смог, поскольку задумал слишком амбициозное творение — полное описание своих идей по решению стоящих перед христианством проблем. В итоге он соединил вместе некоторые примеры своих рассуждений, добавил новый материал и в конце 1267 — начале 1268 г. отправил в адрес папы результаты своих усилий — «Opus majus» (включая «Перспективу»), «Opus minus» и «Об умножении образов» (в двух версиях). Можно предположить, что эти работы успешно достигли папского двора, поскольку весь содержащийся в них материал по оптике позже попал в руки Вителло, польского ученого, работавшего в папской библиотеке.

На рубеже 1240–1250-х гг. Бэкон пережил драматические изменения собственных воззрений, выйдя за рамки философии Аристотеля и посвятив себя изучению других доступных источников, переведенных с греческого и арабского. Эти исследования могли быть вдохновлены примером Роберта Гроссетеста, труды которого Бэкон, безусловно, изучал. Результатом размышлений стали сочинения, которые были написаны по математическим и «экспе-



Рис. 16.2
Роджер Бэкон.
Гравюра из трактата
«Theatrum Chemicum»,
XVII в.



риментальным» наукам, включая географию, химию, астрономию, астрологию, метеорологию и *Перспективу*. Бэкон утверждал, что в тот период потратил на научные нужды целое состояние: «На протяжении 20 лет, когда я специально трудился над поисками истины, игнорируя мнения невежд, я потратил более 2000 фунтов на эти штудии, тайные книги, различные эксперименты, переводы, инструменты, таблицы и другие вещи» (рис. 16.2).

Интересны взгляды Бэкона на историю философии. Вот как он ее себе представляет. Вначале философия была открыта Адаму и патриархам, и если правильно толковать Писание, то открыта вся целиком в образной форме. Языческие философы и поэты древности — лишь преемники истинных философов. По 600 лет жизни Бог давал им для овладения философией и

дополнения философских познаний опытом. Но злоупотребления людей достигли такой степени, что Бог затемнил их сердца, и философия была предана забвению. То была эпоха Нимрода и Зороастра, Атланта, Прометея, Меркурия или Трисмегиста, Эскулапа, Аполлона и других, которые принудили людей поклоняться им как богам по причине их глубоких познаний. Чтобы увидеть возрождение философии, когда она вновь обрела свое совершенство, нужно обратиться к временам Соломона. После него из-за человеческих грехов овладение мудростью опять прекратилось. Его возродил Фалес и развили последователи. Так продолжалось до Аристотеля, который довел философию до такого совершенства, каким только она могла обладать в его время. Греческие философы являются учениками и последователями древних евреев. Они обнаружили Откровение, данное Богом патриархам и пророкам, которое не могло бы иметь места, если бы философия не согласовывалась со священным законом, полезным для детей Божьих и необходимым для понимания и защиты веры. По Бэкону, теология нужна наукам «для придания им добродетели и подчиненности для одобрения и управления ими».

В «Opus majus» Бэкон отмечал: «Без опыта ничто не может быть познано достаточным образом. Имеются два вида познания: с помощью аргументации и опыта. Аргумент дает заключение и вынуждает нас соглашаться с заключением, но он не дает твердой уверенности и не устраняет сомнений так, чтобы разум успокоился в созерцании истины». В «Opus tertium» Бэкон предупреждал, что «самые сильные аргументы ничего не доказывают, если выводы из них не подтверждены опытом» [9].

О последних годах жизни Бэкона сведений почти нет. Известно только, что он продолжал творить, закончил «Общую физику» и составил «Компендиум философии». Традиционно считается, что именно в этот период Бэкону пришлось пережить заточение в тюрьме. Если это и было в действительности, то непохоже, чтобы тюремное заключение что-либо изменило в его научных идеях. Бэкон закончил свой «Компендиум теологии» в 1292 г. и вскоре скончался.

Перспектива — наука о свете, цвете и зрении, стала одним из главных увлечений Бэкона во второй половине 1240-х гг. В пятой книге «*Opus majus*», посвященной ей, он пишет: «Если наши предыдущие рассуждения кажутся достойными, то материал, к которому мы сейчас приступаем, более прекрасен и удивителен, поскольку мы получаем особенное наслаждение благодаря зрению, а свет и цвет имеют собственную красоту, превосходя все прочие явления, воспринимаемые нашими чувствами».

Дело не только и не столько в красоте и наслаждении, даваемых светом, цветом и зрением. Бэкон указывает на их гносеологическое значение, подчеркивая роль зрения в познании мира. Именно благодаря зрению «мы исследуем все, что происходит на земле и на небесах. За звездами и планетами мы наблюдаем с помощью зрительных инструментов, как учили Птолемей и другие астрономы. Так же как за явлениями, происходящими в воздухе, такими как кометы, радуга и подобные. За их возвышением над горизонтом, их размером, формой, числом. И все в них удостоверяется зрением, дополненным инструментами. Через видение мы также изучаем земные вещи, в то время как слепцы для понимания устройства мира не имеют таких возможностей, а знают о вещах лишь их наименования».

В трактате «*Opus majus*» одна книга целиком посвящена оптике. В ней автор, намного опережая свое время, приводит описание камеры-обскуры, волшебного фонаря, читального камня и зажигательной линзы и, в частности, отмечает: «Мы можем придать прозрачным телам определенную форму и расположить их так, чтобы лучи оказались преломленными, и мы увидим объект буквально под рукой». Даже спустя пять веков автор одной из первых русских книг по оптике восторженно цитирует Бэкона: «Таким образом, самое мелкое письмо в несказанном расстоянии и пылинки в песке считать можно, карла оказался бы великаном, человек — горою, и малое войско многочисленным» [69].

Знания и убеждения, считал Бэкон, можно обрести через слух, но только через зрение мы можем проверить то, во что верим. Доказательства этого предполагаемого превосходства находятся в существовании *Перспективы*: «Если то, что мы ищем, просто, то нет необходимости создавать науку для этого; также если нечто сложно, но бесполезно, то и в этом случае создавать науку нет необходимости, поскольку это будет глупо и бессмысленно. Далее, если нечто весьма полезно и содержит в себе множество восхитительных истин, то не нужно плодить отдельные науки для каждой из них; мы должны соединить их вместе как части общей науки, как главы единой книги. Но, рассматривая зрение само по себе, без других чувств, философы открыли самостоятельную науку *Перспективу*. Следовательно, мудрость, обретаемая через зрение, имеет особую практическую значимость, не обнаруживаемую в других чувствах».

Бэкон признает, что могут существовать более полезные науки, чем *Перспектива*, но настаивает, что ни одна другая наука «не обладает пользой, столь красивой и восхитительной». В кристалле *Перспективы* он выделяет четыре грани, в которых ищет особые примеры ее пользы «для тайной мудрости» [254].

Во-первых, *Перспектива* опирается на библейские толкования, требующие знания всех натуральных наук. В свою очередь все эти науки зависят от *Перспективы* для своих объяснений, распознаваний и классификаций. Поскольку математику Бэкон называл «воротами и ключом к четырем наукам» и признавал общим языком других наук, то *Перспектива* рассматривается им как универсальный инструмент экспериментальных обоснований для всей натурфилософии. Действительно, понятие первичного света возникает в начальных строках Священного Писания, а ссылки на образы и видения как неопровержимые аргументы веры встречаются в нем чуть ли не на каждой странице.

Во-вторых, *Перспектива* непосредственно применима к библейским толкованиям, поскольку «в отдельных толкованиях нет ничего, кроме вещей, свойственных глазу и зрению... и поэтому нет ничего более важного, чем убеждения, основанные на этой науке». Примером последнего Бэкон называет содержание псалма «Храни меня, [Боже,] как зеницу ока» (Пс. 16: 8). Бэкон верит, что нельзя полностью осознать значение этого пассажа, не поняв, как зрачок сохраняется, и только наука *Перспектива* поможет этому пониманию.

В-третьих, *Перспектива* есть богатый источник аллегорий, используемых в Божественных Откровениях. Бэкон постоянно подчеркивает это и приводит примеры таких возможностей. Например, «так же, как мы не сможем увидеть ничего телесного без телесного (физического) света, так же невозможно увидеть ничего идеального без духовного света Божьей благодати. И так же, как ограниченные дистанции требуются для распознавания видимых объектов, так же и идеальные вещи могут быть познаны на удалении от Бога через идентификацию, и умножение грехов разрушает духовное зрение». И еще: зрение имеет три ипостаси — прямое, когда все видится превосходно; преломленное, когда вещи искажены; и отраженное в грешниках и тех, кто игнорирует Божественное руководство. Бэкон отсылает к отрывку из Послания апостола Павла к коринфянам — «Теперь мы видим через зеркало, гадательно...» (1 Кор. 13: 12).

Наконец, в-четвертых, *Перспектива* предлагает путь к технологическим чудесам, которые обещают оснастить христианский мир для борьбы против врагов. Например, «зеркала могут быть так сконструированы, так расположены и соединены, что единая вещь может быть представлена как сколь угодно большое множество». Один человек, таким образом, может представить собой целую армию, а одна армия — много армий. Такие результаты, говорит Бэкон, могут быть полезны для друзей и устрашающи для врагов. Подобные трюки можно осуществлять и с помощью законов преломления так, что «разум простого смертного не сможет противостоять им».

Бэкон не устает петь дифирамбы *Перспективе*, «которую святой человек открывает в начале мира и которая всегда используется святыми и мудрецами более, чем все остальные науки».

Был ли призыв Бэкона о важности связи математики и *Перспективы* услышан, или следует рассматривать его как риторический прием для убеждения могущественных покровителей его амбициозной интеллектуальной программы? Судя по контексту, Бэкон остался непонятым в своих замыслах.

Он прилагал все усилия к возвращению христианства на путь истинный, соглашаясь, что «рукотворные дисциплины» должны обслуживать религию и теологию.

Отказ Бэкона и многих его современников считать классическую традицию, выраженную в переведенных греческих и арабских трактатах, чем-то антагонистическим христианской вере очевиден.

Три трактата Бэкона вместили большую часть его усилий. Самым широким с философской точки зрения и, возможно, самым ранним из них стал трактат «Об умножении образов» («De multiplicatione specierum»). Он открывает раздел философии природы, основанный на том, что все природные агенты (посредники) действуют через распространение или умножение образов вещей или красот к воспринимающим органам. Распространение света есть один из наиболее ярких примеров этого явления. Здесь уместно сделать ремарку относительно термина «умножение образов», смысл которого не следует понимать буквально. Схоластическое наполнение данного словосочетания близко скорее к нашему «распространению света» или «передаче изображений», чем к количественному умножению зрительных форм. Трактат содержит полное изложение фундаментальных принципов *Перспективы*. Дата его составления неизвестна, за исключением того, что он явился результатом работы, начавшейся в конце 1240-х гг. и продолжавшейся два десятилетия. Ссылки на этот трактат в «Перспективе» позволяют предположить, что он был составлен ранее или написан в то же время. Многие историки науки датируют его примерно 1262 г. [175], [254].

В то время как «Об умножении образов» содержит фундаментальные принципы, «Перспектива», созданная около 1263 г., предлагает углубленное рассмотрение теории света, цвета, зрения. Бэкон написал краткий трактат «О зажигательных зеркалах» как всесторонний и аргументированный математический анализ вариантов распространения света. Первая часть этой работы фактически была комментарием к финальной части труда «О зеркалах» Евклида, а вторая посвящена прохождению света через малые апертуры (эффект камеры-обскуры). Трактат был закончен до середины 1270-х гг., поскольку он повлиял на «Общую Перспективу» Иоанна Пеккама. Изложенная Бэконом теория излучения через малые апертуры представляется более развитой по сравнению с рассуждениями из трактата «Об умножении образов» и «Перспективы». Если это справедливо, то последний оптический трактат Бэкона следует отнести к периоду с 1263 по 1274 г.

На протяжении всей жизни Бэкон возвращался к перспективистской теме, пересматривал и развивал идеи об умножении образов. Он включил оптический материал в «Общую физику», «Opus majus», «Opus tertium» и «Компендиум теологии» [254]. Авторство Бэкона в отношении указанных трактатов не вызывает сомнений. Они стилистически и содержательно подобны, имеют перекрестные ссылки, показывающие их как развитие идей одного человека. «Opus tertium», например, содержит беглый комментарий к «Opus majus», в котором упомянута «Перспектива». В копиях манускриптов «Об умножении образов» и «Перспективы» часто упоминается имя Бэкона как автора. Эти оптические труды соответствуют общим представлениям о научном наследии Бэкона.

16.2. РОДЖЕР БЭКОН И МАТЕМАТИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВЫ

В начале 1260-х гг. Бэкон обвинил в невежестве Альберта Великого, который писал на оптические темы в 1240–1250-х гг. Принципиальной претензией Бэкона к Альберту было игнорирование им *Перспективы*.

В «Opus minus» Бэкон рассудил об этом так: «Поскольку он игнорирует *Перспективу*, о которой действительно ничего не знает, у него нет возможности понять что-либо о сущности в философии».

В «Opus tertium» атака продолжилась: «Он, кто произвольно умножает сущности, игнорирует *Перспективу* и умножение образов. И не только он, но и околофилософская толпа игнорирует это. Если вы поинтересуетесь, почему он обходится без этих основ, вы найдете его некомпетентным в их отношении» [123].

Обвиняя Альберта в отсутствии знаний о *Перспективе*, Бэкон не утверждает, что тот незнаком со световыми явлениями или механизмом зрения. Анализ работ Альберта по визуальному восприятию показывает, что он владел аристотелевской доктриной. Похоже, что Бэкон составил свое мнение на основании методологии Альберта, который проявил нежелание использовать геометрические построения и другие математические приемы Альхазена и Гроссетеста. Бэкон же положил их в основу своего учения.

Как ученый Бэкон во многом сформировался под влиянием работ Гроссетеста, но главное, что он использовал труды Птолемея и Альхазена, в которых возможности геометрической оптики выявлены наиболее полно. Эти работы заставили Бэкона *прозреть* в отношении свойств математической науки.

Труды Бэкона украшены утверждениями, что математика есть врата всякого знания, ключ к пониманию всех наук. В «Общей физике» мы читаем: «Ни одна наука не может произрасти без математики, и... никто не может воспринять другие науки, если он недостаточно информирован в математике. Никакие явления этого мира не могут быть поняты, никто не проникнет в сущности тел и вещей, если он не пропитан могуществом математики».

В «Opus majus» Бэкон провозглашает принципы, под которыми можно подписаться и сегодня: «Пренебрежение математикой последние 30 или 40 лет разрушило цельную систему латинского образования... тот, кто игнорирует ее, не может познать других наук или понять вещи мира. И напротив, овладение математикой подготавливает ум и возвышает его для истинного знания всех вещей, так же как некто создает основы мудрости, составляющие базис этой науки, и применяет их корректно к познанию других наук. Он будет способен познать все вещи этого мира, без ошибок и затруднений, просто и эффективно».

В «Opus tertium» Бэкон указывает, что математика есть первая из наук, без которой другие не могут быть познаваемы. И что причины натуральных вещей не могут быть представлены иначе, как через геометрию, а строение мира не может быть понято без овладения искусством *Перспективы*. Более того, отрицание *Перспективы* есть дело самого дьявола, поскольку без ее помощи теология и философия становятся неприменимыми.



Энтузиазм в математическом описании природы не помешал Бэкону ощутить его ограничения. Например, в попытках продемонстрировать то, что доктрина единства материи имеет логическое умозаключение, Бэкон замечает: «В настоящем я желаю показать это только через геометрические построения, как я и обещал; так же как и натуральные и метафизические аргументы, которых множество и которые весьма эффективны». Несколько дальше в «Opus majus» Бэкон представляет теоретические исследования для интерпретации этих допущений. Он признает вслед за Гроссетестом, что математика необходима для установления причинности, тогда как суть явлений описывают физические принципы.

Бэкон искал пути применения геометрических методов к оптическим вопросам, и это видно из его трудов. В них впервые на Западе появились оригинальные оптические трактовки, содержащие геометрические рисунки. «Об умножении образов» содержит 39 таких чертежей, «Перспектива» — 51, «О зажигательных зеркалах» — 28. Все рисунки декоративны, кроме того, все они поддержаны доказательной геометрической аргументацией. Бэкон использовал геометрию для толкования теории прямого видения, развил теорию бинокулярного зрения через геометрические линии и правила *Перспективы* и представил геометрический анализ распространения света, включая явления отражения и преломления. Суть этих построений Бэкона рассмотрена нами в четвертой части. Здесь же обозначим наиболее важные бэконовские приложения геометрии к оптике.

Отражение и преломление света были явлениями, при анализе которых успешно применяли геометрию предшественники Бэкона. Бэкон следует этой традиции. Он расширяет геометрические принципы, управляющие отражением от плоских, выпуклых и вогнутых зеркал; рассматривает равенство углов падения и отражения; локализацию отраженных образов на пересечении прямолинейного продолжения зрительного луча из глаза (или отраженного освещающего луча, идущего к глазу) и перпендикуляра, опущенного из видимой точки на отражающую поверхность (катет отражения). Он также справляется с вопросами увеличения, уменьшения, обращения и поворота изображений. Анализ формирования отраженных образов в вогнутых сферических зеркалах подразумевает концепцию фокальной точки или плоскости.

Геометрический анализ преломления у Бэкона показателен, хотя и менее развернут и адекватен по сравнению с анализом отражений. Ученый не проявил интереса к количественной проблеме открытия алгебраического или тригонометрического закона преломления. В этом отношении Птолемею уже была предпринята попытка, и Бэкон был с нею знаком. Сам он стремился обосновать качественные принципы, управляющие преломлением на границах раздела различных сред. Он понимал, что лучи преломляются в тот момент, когда переходят из одной среды в другую, при этом они оказываются тем ближе к перпендикуляру, чем плотнее среда. Вслед за Евклидом, Птолемею и Альхазеном Бэкон полагал, что изображение объекта, видимое благодаря преломленным лучам, расположено на пересечении прямолинейного продолжения зрительного луча, исходящего из глаза (или светового луча, входящего в глаз), и перпендикуляра, проведенного от видимой точки к пре-

ломляющей поверхности. Он учитывал, что луч, будучи обращен, должен пройти точно по тому же пути через преломляющую поверхность и что степень преломления зависит от отношения прозрачностей (мы бы сказали «оптических плотностей») граничащих сред. Чтобы показать это, он провел геометрический анализ десяти случаев преломления на плоских и сферических поверхностях, проиллюстрировав их диаграммами.

Сегодня геометрический анализ отражений или преломлений рассматривается как нечто очевидное. Однако геометрический подход к распространению света кажется самоочевидным благодаря знакомству с теми традициями геометрической оптики, одним из основателей которых был Бэкон. Для ученых его времени не было ничего очевидного в геометрических интерпретациях задач оптики, только после них эти построения стали общепонятными.

Математика отчасти использовалась еще в первых моделях глаза при описании кристаллических сред и оболочек в геометрических терминах. Центральная жидкость, по мнению Эрофила, Галена и аль-Кинди, идеально круглая (но не сферичная, поскольку уплощена спереди), и она пересекается с ретиной по кругу, который делит хрусталик на две половины. Была развита геометрия зрительных конусов, обсуждались зрительные лучи, исходящие прямыми линиями из глаза к видимым объектам. Альхазен, анализируя конусы излучения как совокупности дискретных лучей, вслед за Птолемеем и аль-Кинди был вынужден определить путь для каждого луча, который попадает в глаз наблюдателя. Это вызывало необходимость применения преломления и требовало учета форм различных преломляющих поверхностей. Конечным результатом усилий была геометрическая модель окулярной анатомии, в которой формы различных оболочек и сред глаза определялись не анатомическим исследованием, а общей теорией видения — потребностями сортировать входящее излучение и посылать лучи по путям вплоть до оптического нерва (см. рис. 10.50) [255].

Бэкон познакомился со схемой из альхазеновского «Сокровища оптики», принял ее и стал ее главным пропагандистом. Трактат Альхазена вместе с «Перспективой» Бэкона на века определили геометризацию глаза как особенность европейских зрительных теорий. Следуя Альхазену, Бэкон доказывал, что производящие зрение лучи суть те, которые перпендикулярно падают на глаз и входят в него без преломления. Эта форма конусов излучения с основанием на видимом объекте направляется прямо в апекс (центр) глаза, которого не достигает. В соответствии с геометрическими построениями для прямых (неперевёрнутых) зрительных образов Бэкон должен был показать, что лучи следуют через глаз без пересечений. Этого он достиг с помощью единичного преломления на последней поверхности линзы хрусталика, которая разводит сходящиеся лучи так, что препятствует их пересечениям и передает их без изменения внутренней структуры прямо к открытому зрительному нерву.

Все это требовало строгой геометризации глаза (рис. 16.3). По Бэкону, все оболочки и среды глаза сферичны или являются частями сфер, центры которых лежат на одной прямой — оси глаза, тянущейся от центра зрачка в начале к оптическому нерву в конце. Роговица и входная поверхность хру-

сталика концентричны, и лучи, перпендикулярные одной из них, нормальны и ко второй. Как результат, лучи зрительного конуса проходят через роговицу и внутри хрусталика без преломлений. Граница раздела хрусталика и стекловидного тела считается также сферической, и ее кривизна точно подобрана для того, чтобы проецировать зрительные лучи на оптический нерв, который передает их *первичной чувствующей силе*, локализованной в общем нерве, т. е. в соединении оптических нервов от обоих глаз (хиазме). Бэкон признает, что это идеализированная схема и что оболочки глаза могут реально отклоняться от сферичности в задних частях, но их передние поверхности сферичны — этого оказалось достаточно, чтобы отвечать теоретическим требованиям, побудившим Альхазена, Бэкона и их последователей защищать такую модель.

Примером эффективности математического анализа Бэкона служит его исследование излучения через малые апертуры, предпринятое на страницах труда «О зажигательных зеркалах». Проблема была классической для объяснения того, как излучение от сферического тела, например от Солнца, проходя сквозь малые треугольные или прямоугольные апертуры, формирует круглые изображения. Этот вопрос вызвал много комментариев, начиная с «Проблем» Псевдо-Аристотеля, вскользь рассмотрели задачу аль-Кинди и Евклид, но ни один источник, доступный Бэкону, не дал полного геометрического анализа [250]. Бэкон всесторонне изучил различные конусы и пирамиды излучений, проходящих через апертуру. В четвертой части нашей монографии его аргументация рассматривается подробно, а здесь на рисунке 16.4 приведена схематическая иллюстрация рассуждений.

Если ABC есть Солнце, а DEF треугольная апертура (вид сбоку), то пирамида ACG , согласованная с формой апертуры, должна объяснить, почему изображение вблизи апертуры отражает форму последней. Конус ACE , который имеет вершину в середине апертуры, порождает перевернутый конус EHI ,

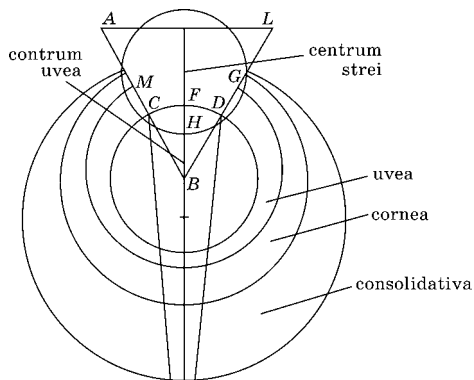


Рис. 16.3
Модель механизма зрения по Бэкону:
конусы лучей и оболочки глаза.

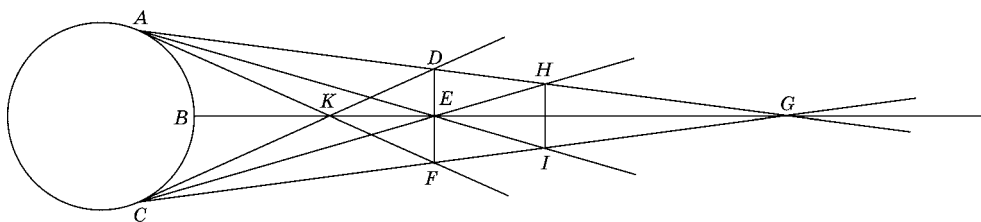


Рис. 16.4
Модель формирования изображений по Бэкону:
изучение конусов и пирамид излучений, проходящих через апертуру.

который переносит круглое изображение светящегося источника и может объяснить, почему изображение вдали от апертуры имеет круглую форму. Однако наиболее удаленные от центра апертуры лучи AKF и CKD должны формировать треугольный контур, поскольку излучение, принадлежащее пирамиде ACK и ее контрапункту KDF , должно быть подобно контурам апертуры. Кажется, что нет геометрического объяснения изображения той же формы, что и источник, и Бэкон напряженно ищет причины того, почему излучение между CD и CH не вносит вклада в изображение. Анализ не приносит успеха, лишь Кеплер получит результат. Но и анализ Бэкона весьма тщателен, глубок и геометрически строг. Он научил последователей искать решение проблемы в геометрической модели излучения.

Бэкон достиг успеха в реализации своей цели по математизации учения о свете и зрении. В «*Opus tertium*» он утверждал, что «причины природных вещей не могут быть выяснены иначе, как через *Перспективу*». Посмотрим еще раз на приведенные выше примеры.

Бэконовский анализ отражений и преломлений в основном геометричен. Он начал свои объяснения со ссылок на физику удара и движение через сопротивляющиеся среды. Свет проходит через одну вязкую среду в другую и отклоняется в соответствии с силами сопротивления сред и углом падения на границу их раздела. Ученый приводит различные механические аналогии для толкования такого поведения: лобовой ветер сильнее отклоненного или бокового. Но почему наклонное падение лучей отклоняется в направлении перпендикуляра, если попадает в более плотную среду? Здесь недостаточно математических или физических принципов, и Бэкон обращается к метафизическому принципу единства. Свет выбирает такой путь для своего прохождения во второй среде, который был бы наиболее близок к единообразию силы сопротивления. Если вторая среда плотнее первой, то излучение компенсирует эффект ослабления более плотной средой, принимая такое направление внутри этой среды, чтобы преодолеть большее сопротивление по перпендикуляру, т. е. кратчайшим путем («Об умножении образов») [249]. Это замечание если и не абсолютно справедливо, то во всяком случае приемлемо и методологически оправданно.

В бэконовской теории видения математика тоже может объяснить далеко не все. Почему производящие зрение лучи должны падать на глаз перпендикулярно? Ответ содержится в природе света, который ослабляется при преломлении, и в природе зрительной способности, которая воспринимает лишь неослабленные лучи. Была еще одна проблема: *перемешивание* зримых образов в среде между объектом и наблюдателем, что мешало чисто математическому решению. На пути создания теории видения Бэкон встал перед проблемой взаимодействия низких, телесных объектов с благородными чувствами. Он предложил решение, которое не было связано с математикой: зрение посылает вперед свое собственное излучение, которое видоизменяет и «облагораживает» телесную среду и «пробуждает» образы видимого объекта таким образом, что входное излучение оказывается «соразмерным с благородством» глаза. В этих рассуждениях прослеживается влияние античной теории синаугогии, построенной на взаимодействии дневного света и света очей [76].

Бэконовский анализ прохождения излучения через малые апертуры включает и негеометрический подход. Попытка объяснить, почему излучение между CD и CH (см. рис. 16.4) невидимо, строится на аргументах о силе излучения и предположениях о чувствительности зрительной способности. Луч CD , по мнению Бэкона, есть одиночный луч, и это означает, что, попав в апертуру, он не пересекается никаким другим лучом, испущенным светящимся телом. Этот луч не будет видим, поскольку одиночные лучи слишком слабы, чтобы возбуждать зрение. Любые вопросы об оптических явлениях требуют понимания строения глаза и механизма зрения, последнее неизбежно вводит в рассмотрение факторы нематематической природы.

Факты для объяснений прохождения лучей через малые отверстия были получены из чувственных данных — наблюдений за тем, что солнечные лучи, проходя через некруглые отверстия, формируют круглые образы. Чтобы объяснить эти факты, Бэкон вводит геометрические характеристики — пересечение лучей за апертурой и представление об одиночных лучах. Он считает необходимым обратиться к природе света и неспособности *зрительной силы* ощущать слабый свет, находящийся вблизи сильного. Типичным у Бэкона является предложение геометрического анализа чувственного опыта, в котором он обращается к физическим основам природы и метафизическим принципам, как, например, при анализе данных по преломлению. Его трактат «Об умножении образов» содержит долю геометрического анализа, оперирует природой образов и физикой их распространения через среды. Когда в «Перспективе» предлагается вариант теории зрения, он начинается с души, ощущений и распознаваний, что составляет основу работы. В «Перспективе» наблюдаются не только математические решения, но и интеграция математических, физических, метафизических и физиологических сведений. При всем возвышении математики практика «Перспективы» предполагает, что конечные термины описания лежат в областях физики, метафизики и психологии.

16.3. ПЕРСПЕКТИВА КАК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА

Математика не была единственной методологической основой, которую предпочитал Бэкон. Для избавления от ошибок и приобретения нового знания он дополнял математический анализ экспериментальными исследованиями, к которым отсылает в «*Opus majus*» и других работах.

В XIX в. принято было романтизировать Бэкона как свободного духом борца против теологического угнетения и открывателя экспериментального метода. Но уже со второй половины XX в. его стали представлять последователем методологической традиции, восходящей ко «Второй аналитике» Аристотеля. Теперь его называют одним из основателей экспериментальной науки, тогда как обычно именовали единственным ее основателем. Существует мнение, что истинным основателем экспериментальной науки был учитель Бэкона Гроссетест [156], с чьим именем связывают превращение Оксфорда в главный центр методологической революции, положившей начало современной науке. Но и Бэкону принадлежала важная роль: он вырос на методах своего учителя и успешно развил его подходы в науке применительно

к задачам эмпирического подтверждения (верификации) и опровержения (фальсификации).

Бэкон употреблял термины *эксперимент* и *опыт* как эквиваленты, в его научной практике они покрывали более широкую область наблюдений, чем сегодня. Истинное значение латинского слова «*experimentum*» — «тест» или «испытание». Бэкон квалифицировал так и обычные проверки, и придуманные, искусственные эксперименты, и частный обыденный опыт, и отчеты о виденном другими наблюдателями, и то, что Линдберг назвал «геометрическими экспериментами», — проверку рассуждений геометрическими построениями (демонстрациями). Вот один из примеров последнего: наблюдатель, который фокусирует оба глаза на удаленном предмете, воспринимает двоящееся изображение более близких объектов — скажем, один из своих пальцев, расположенный в центре поля зрения.

Для определения, что правосторонний образ исчезает, когда закрывается левый глаз, и наоборот, уже нет необходимости проводить физический эксперимент. Достаточно нарисовать схему и проверить эту проблему геометрически.



Цели опытов подытожены Бэконом в его рассуждениях о «трех прерогативах экспериментальной науки». Первая из них — проверить выводы, основанные на аргументах внутри других наук, через передачу их для опытного тестирования. Бэкон приводит тривиальный, но яркий пример: человек может сомневаться, что пламя жжет, и переубедить его невозможно, пока он не поместит руки в огонь. «Как только он получит ожог, его душа обретет ощущение истины». Излюбленными объектами Бэкона были радуга и метеорологические явления, где «требуется великий эксперимент с использованием инструментов». Предложенные им исследования — прекрасная возможность поставить эксперимент с использованием астрологии. Бэкон первым правильно измерил максимальную угловую высоту радуги (около 42°).

Вторая прерогатива экспериментальной науки заключается в снятии завесы с истин, принадлежащих другим наукам, но которых эти науки не могут постичь самостоятельно. Так, способность магнита притягивать железо не может быть теоретически доказана в структуре никакой науки — она может быть принята на веру на основе мнения авторитета и может быть показана только экспериментами с магнитами и железом. В то же время Бэкон упоминал «эксперименты», для проведения которых нужно «затаиться в ожидании чудовищ для открытия силы растений, камней, металлов и других вещей, которыми они восстанавливают свои тела многими чудесными путями».

Третья прерогатива — открывать природную мощь, полностью лежащую вне области наук, и давать аргументы в пользу христианства. Это вершина практического знания, достижимая только экспериментальными методами. Бэкон имел в виду чудесную силу растений и камней, красоту фейерверков, явления магнетизма и другие мистери. К этой прерогативе он относил иудаистскую астрологию в версии, основанной на астрономических наблюдениях и математических таблицах. Экспериментальная наука, в соответствии с третьей прерогативой, также производит полезные открытия, в число которых входят вечно теплые (термальные) источники, негасимый свет или искусство убивать людей без физического контакта, которые могут убедить церковь от Антихриста.

Анализируя рассуждения Бэкона об экспериментальной науке, можно понять, каким образом эксперимент и опыт проникли в его «Перспективу». Во-первых, нет доказательств тому, что Бэкон создавал ее с использованием экспериментов, возможно, он просто следовал предшественникам. Сама структура его трактата повторяет труд Альхазена с добавлениями, почерпнутыми из Евклида, Птолемея, аль-Кинди, Аристотеля, Авиценны, Августина, Гроссетеста и др. Личный вклад Бэкона состоит в объединении разрозненных фактов и теоретических положений, найденных в этих источниках, и в корректном их синтезе. Это было достижение скорее теоретического, чем экспериментального характера.

Во-вторых, большинство аргументов из бэконовской «Перспективы» (и других перспективистских работ) не содержит прямых ссылок на эмпирические данные. Стандартным приемом Бэкона для защиты теоретических положений было указание на то, что они следуют из объяснений или соответствий фактическим данным, вторичным философским условиям и подтвержденному авторитетными мнениями теоретическому содержанию дисциплины.

Наконец, в-третьих, понимание достижений Бэкона возрастет, если мы примем во внимание аудиторию, для которой он творил. «Перспектива» была включена в «*Opus majus*», отправленный папе как часть предложений для патронирования одновременно с трудом «Об умножении образов». Обе работы были написаны несколько ранее как части задуманного автором комплексного труда по натурфилософии и другим аспектам человеческого знания. Бэкон не планировал обсуждать перспективистские работы с коллегами потому, что у него просто не было такой аудитории. Он писал работы по *Перспективе* ради ее пропаганды в схоластическом сообществе, папском окружении и далее везде. Успех предприятия измерялся прозрачностью объяснений, и не было никакой нужды обращаться к эмпирике или мудрствованиям для достижения перспективистских выводов.

Однако примеры попыток экспериментального обоснования Бэконом науки *Перспективы* все же есть. В одном случае он рекомендует эксперимент для анализа двоения зрения через наблюдение ближнего объекта при фокусировке обоих глаз на дальнем предмете, описанный выше. Второй пример касается определения углового поля зрения человеческого глаза: «Глаз на поверхности земли не может охватить даже четверти небосвода. Человек, смотрящий на звезды прямо над головой, пока он стоит на плоской поверхности, не может увидеть землю, как бы ни старался. Следовательно, он не может видеть четверть, но немного менее, поскольку если наблюдатель немного наклонит голову, он увидит землю, но не звезды».

Можно вернуться к рассмотрению радуги, которое отсутствует в «Перспективе», но есть в шестой книге «*Opus majus*». Бэкон рассматривает эффекты, приводящие к появлению цветов; и хотя отдельные описания заимствованы, уровень детализации других указывает на собственные наблюдения ученого. Он предлагает экспериментатору проверить вполне земные вещи для выявления цветовых изменений в радуге и связанных с ней метеорологических явлений. Экспериментатору рекомендуется начать с опытов с гексагональными кристаллами из Ирландии или Индии, разместив их в пучке

солнечного света, входящего через окно. Утверждается, что так можно спроецировать цвета радуги на темную поверхность. Такой же эффект получается, если экспериментатор смотрит через кристалл в темноту: сощурившись, человек воспринимает свет и видит правильно расположенные цвета радуги. Эти эксперименты могут быть повторены при использовании кристаллов разнообразных форм и текстур. Цвета радуги могут наблюдаться в капельках воды, распыляемых изо рта, конденсируемых на траве во время росы, исходящих из водопадов или капающих с поднимаемого весла или водяного колеса. Расположившись напротив солнца и надев капюшон, закрывающий лицо до уровня глаз, можно увидеть цвета радуги. Тот же эффект достигается, если глаза прикрывать веками.

Наконец, следует вспомнить об определении Бэконом правильной величины угла максимального подъема радуги в 42° , до этого не встречавшейся ни в одном трактате. Вероятно, это были его собственные измерения. Бэкон рекомендует использовать для них инструмент (по-видимому, астролябию): «Пусть экспериментатор возьмет необходимый инструмент для нахождения высоты Солнца над горизонтом. Держа его неподвижно, пусть он повернется в противоположном направлении и смотрит через апертуру инструмента, пока не увидит наивысшую часть арки и определит высоту радуги над горизонтом. Он откроет, что наивысшей позиции Солнца соответствует низшая позиция радуги, и наоборот».

Инструменты упоминаются и в некоторых других работах Бэкона. Он ссылается на желание иметь реальную модель глаза. Невозможно, чтобы анализ прохождения света через малые апертуры был проведен без применения отверстий разной формы. Поскольку его анализ опирается на треугольные апертуры, нетрудно поверить, что ученый действительно вырезал треугольные отверстия в кусочках пергамента и наблюдал проецируемые через них образы. Также сомнительно, чтобы Бэкон исследовал явления отражений и преломлений без использования зеркал и кристаллов. Наиболее полное описание экспериментальных приспособлений дается им в исследовании *двойного видения*: «Исследователь может убедиться в этом, используя гладкую доску шириной в ладонь и длиной в пять ладоней. Он должен взять три отдельных объекта, сделанных из воска или дерева, размером с мизинец и с формой пирамиды. Для лучшей четкости их нужно покрасить разными цветами. Эти объекты необходимо разместить продольно вдоль доски на разных расстояниях от наблюдателя. Первый объект следует установить на середине доски, второй — в ее окончании, а третий — на половине расстояния от глаза до первого объекта. Ближний к глазу край доски должен быть аккуратно обрезан, чтобы его кромка позволяла разместить приспособление непосредственно у переносицы. Если оси обоих глаз будут фиксироваться на среднем объекте, то он будет казаться единым, а оба других удвоятся». За исключением некоторых деталей, описание заимствовано у Альхазена.

Большинство наблюдений Бэкона направлено на подтверждение, опровержение или изменение теоретических положений или явлений, требующих объяснения. Наблюдения дают возможность продемонстрировать убедительную мощь *Перспективы*. Примером является утверждение, что небесные тела часто представляются большими, если они расположены у горизонта

(особенно летом и осенью, когда видны сквозь водяные пары), по сравнению с их положением в зените. Это сопровождается фразой «как все замечают из повседневного опыта». Другой пример приведен в рассуждениях об удвоении образа, производимого солнцем, наблюдаемым через зеркало, погруженное в контейнер с водой. Бэкон упрекает некоторых перспективистов в том, что «они пренебрегают экспериментальным тестированием явлений».

Однако Бэкон мог и критически относиться к эксперименту, например к опыту Альхазена, который считал, что окрашенный свет, проходя через малые отверстия, не перемешивается. Бэкон нашел теоретический путь для аргументации, что перемешивание все же происходит.

Перспективистские работы Бэкона дают множество примеров псевдоэмпирического подтверждения или опровержения теорий. При обсуждении дальнорукости или близорукости он указывает на глубоко посаженные глаза, утверждая, что глубина глазной впадины усиливает зрительную способность, предотвращает взор от быстрого рассеяния и заставляет концентрироваться на далеких объектах. Бэкон подтверждает это обращением к возможности наблюдать звезды в дневное время со дна колодца: «Экспериментальное подтверждение того, что глубоко посаженные глаза концентрируют зрительную силу: если человек расположен в глубоком месте, например на дне колодца, он сможет увидеть звезды даже днем, как указывал Плиний во второй книге „Естественной истории“. Это доказывает обострение зрительного пути, приводящее к собиранию зрительной силы, что направляет ее на звезды, находящиеся прямо над колодцем».

Сам Бэкон вряд ли бывал в колодце и повторял этот опыт, он лишь опирался на мнение Плиния. То же наблюдается в подходе к подтверждению его веры в то, что зрительные лучи действительно излучаются из глаза, соединяясь с внешним светом. Бэкон замечает, что влажный воздух вблизи глаза незаметен, однако, будучи расположен на некоторой дистанции, становится видимым. Это объясняется тем, что на расстоянии образы, исходящие из глаз, ослабляются в той точке, где парной воздух прерывает их. «Это очевидно из эксперимента, — заключает Бэкон. — Зрение производится экстрамиссией, поскольку если бы были зримы только образы, отрывающиеся от предметов, то никакого объяснения визуальным проявлениям невозможно было бы дать».

В последнем примере Бэкон следует Альхазену в утверждении, что зрение осуществляется в основном через первичные лучи, падающие перпендикулярно выпуклой поверхности роговицы и входящие в глаз без преломления. Преломленные лучи также визуальны эффективны. Для подтверждения этого он предлагает эксперимент с размещением иголки между глазом и некоторым видимым объектом, что пресечет прямые лучи от некоторых частей объекта. Если же полный объект оказывается видимым, как это происходит, когда игла расположена близко к глазу, то нужно сделать вывод, что объект видим не только за счет перпендикулярных, но и за счет преломленных лучей.

Рекомендованные Бэконом наблюдения и эксперименты — не подтверждение выводов, но тестирование теоретических предпосылок, из которых эти выводы делались, или верификация либо фальсификация обсужденной



Рис. 16.5
Фронтиспис «Перспективы» Вителло,
изданной Транстеттером и Апианом
в 1535 г.

Показана геометрия формирования дуги дождевой радуги относительно наблюдателя.

смещением радуги, и этот вывод может быть экспериментально проверен: «Если некто, наблюдающий радугу, перемещается параллельно ей, то она разделяет это движение. Если он смещается по направлению к радуге, то она уменьшается; если он оборачивается, то она медленно следует за ним и скорость ее равна скорости наблюдателя. Если человек двигается к радуге, петляя, то он видит радугу движущейся с равной скоростью, как это легко почувствовать, если между ними имеются прочие предметы и строения».

16.4. БЭКОНОВСКАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА И ЗРЕНИЯ

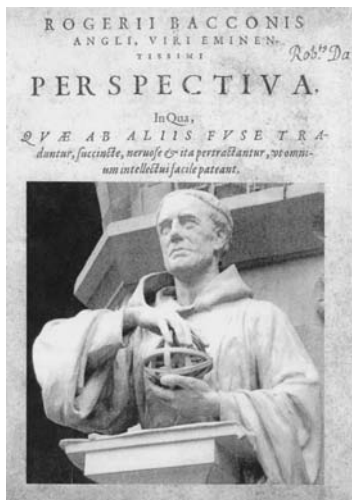


Рис. 16.6
Современное стереотипное
издание «Перспективы»
Роджера Бэкона [385]

ранее теории. Обратимся к одному из описанных выше экспериментов: игла, расположенная между глазом и объектом, как экспериментальный тест теории, по которой объект должен видаться в той же полноте, что и без иглы. Если эксперимент подтверждает это (а он подтверждает), то и сама теория подтверждается.

На примере анализа радуги рассмотрим подход к проверке происхождения радуги при отражении от капелек воды. Идентичность дождевых капель обуславливает частные особенности радуги и ее локализации относительно наблюдателя (рис. 16.5).

Из теории следует, что движение наблюдателя должно сопровождаться

Главной целью античных и средневековых рассуждений по оптике была разработка теории видения. Свет и его распространение представлялись важными, но важность эта проистекала из участия света в процессе зрения. *Перспектива* Бэкона строилась на основе европейских и арабских оптических знаний, накопленных за полтора тысячелетия (рис. 16.6). Центральной проблемой *Перспективы* был вопрос о том, как мы видим.

Относительно направления излучения Бэкон соглашался с Альхазеном и Аристотелем, считая, что зрение осуществляется только входящими снаружи лучами. Глазные истечения, по Платону, Евклиду и Птоломею, не могли отвечать за зрение, но могли играть вспомогательную роль — они «подготавливали» внешнюю среду для приема лучей, идущих от видимых предметов, и «облагоражи-

вали» приходящие лучи в точках, где те воздействовали на глаз. Относительно природы этого излучения Бэкон соглашался с неоплатонической концепцией Вселенной как безбрежного поля сил, в котором каждый объект действует на все другие благодаря своей близости через излучение силы. Что касается света и цвета, то Бэкон доказывал, что они (и другие видимые агенты) подобны этим силам, и это есть проявление универсальной силы.

В труде «Об умножении образов» он высказывает идею, неоплатоническую по сути, что все природные явления осуществляются через эманации или умножения образов от агентов к приемникам. Образы суть свойства (сходства, подобия) или атомы этих агентов, через которые силы агентов воздействуют на окружающий мир. Образы испускаются земными и небесными телами, субстанциями и акциденциями, формами и материей, универсалиями и индивидуальностями. Чувственные вещи воспринимаются пятью внешними чувствами через их образы. Нечувственные вещи также воспринимаются через их образы, но уже не внешними чувствами или здравым смыслом, а двумя внутренними чувствами — суждением и мыслительной силой. Так, например, «овца воспринимает опасность приближения волка, поскольку образы волчьего вида причиняют тревогу органу суждений». Взгляд зависим от образов светлоты и окраски, которые присущи светящимся или цветным телам, — образов, которые мы называем соответственно светом и цветом. Как видимые инстанции умножения образов, свет и цвет наиболее пригодны для изучения и анализа.

Свет и цвет испускаются во всех направлениях из всех точек поверхности видимых объектов. Подобное излучение физически непрерывно, оно распространяется через протяженные среды однородной прозрачности и может быть представлено прямыми линиями или лучами. Лучи света и цвета отражаются, если падают на поверхность, препятствующую их прямому распространению; они преломляются, если попадают в среду большей или меньшей прозрачности. С позиций физики распространения Бэкон утверждает, что свет сам по себе не есть тело, но есть подобие светящегося тела, телесная форма, генерируемая из потенциальности принимающей среды. Он так определяет этот путь в «Перспективе»: «Аристотель спорит с Эмпедоклом, который полагал, что свет есть тело и эманация тела, как вода, истекающая из родника; и невозможно телу как единому целому изменить место от востока до запада в короткое время вследствие большой дистанции. Но образы — не тела, они не движутся как целые формы из одного места в другое; они продуцируются объектами в ближайшей части воздуха не отдельно от этой части, поскольку форма не может быть отделена от материи, в которой она пока не достигает души. Затем она возбуждает свое подобие в следующей части воздуха, и т. д. Следовательно, нет локального движения, но есть генерация умножающихся через различные слои среды образов. Не тела порождаются там, но телесные формы, не имеющие измерений сами по себе... И это не возникает через истечение из светящегося тела, но через вытягивание вперед из потенциальности материи воздуха». Свет и цвет, таким образом, — это формы, воплощенные в материи среды.

Бэкон начинает «Перспективу» с рассмотрения внутренних способностей чувствующей души, размещенных в мозге, в соответствии с представлениями

о том, что зрение обеспечивается не только глазом. Следуя Альхазену и Авиценне, он разделяет мозг на три части. В первой части Бэкон размещает две способности. Одну — так называемое *общее чувство* — он наделяет надзорными функциями над действиями первичных чувств, например для различения того, что слышит ухо или видит глаз, а также распознаванием различных свойств одного объекта, например белизны и вкуса молока. Общее чувство должно воспринимать образы, переданные ему от внешних чувств, для формирования единого поля зрения. Другая способность, также локализованная в первой доле мозга, есть *воображение*, которое является хранилищем для общего чувства, поскольку последнее не способно удерживать «слишком скользкие и увертливые» образы. Комбинация общего чувства и воображения порождает *фантазию*, содержащую обе способности, но отличающуюся от них так, как целое отличается от его частей. Функцией фантазии Бэкон считает создание полного суждения об объекте, обнаруженном общим чувством и удержанном воображением.

Во второй части мозга Бэкон размещает способность вырабатывать суждения, которая воспринимает образы и формы, не воспринимаемые внешними органами и общим чувством. Например, существует нечто, приводящее в трепет овцу, даже если она видит волка в первый раз. Как и общее чувство, способность вырабатывать суждения сама по себе не может удержать образы. Эта функция обеспечивается иной способностью — памятью, хранилищем для суждений.

Наконец, в третьей части мозга располагается способность размышлений — «повелительница всех чувственных способностей». Это есть место для выводов. С помощью этой способности пауки производят геометрически правильные паутины, пчелы — гексагональные соты, другие животные делают то, что на первый взгляд может показаться разумным. У людей рассудительная способность, принадлежащая чувствительной душе, объединена с душой рациональной. Образы, умноженные и увеличенные воображением и памятью, поступают в центр выработки рассуждений, где они «облагораживаются» и передаются рациональной душе: «...и потому рассудительная способность использует силу всех иных способностей как инструменты. Рациональная душа людей, добавленная в результате акта Творения, объединена непосредственно и мгновенно с рассудительной способностью, которая в основном действует как специальный инструмент разума; и образы достигают рациональной души через рассудительную способность».

От мозга и размещенных в нем способностей Бэкон переходит к оптическому нерву, соединяющему мозг и глаз. Он снова обращается к авторитету Альхазена, Авиценны и Константина Африканского. Два оптических нерва зарождаются в основании переднего мозгового желудочка и тянутся к небольшому отверстию в черепной коробке, после чего разделяются, и нерв от правого полушария направляется к левому глазу, и наоборот. В своем пересечении (хиазме) нервы на время соединяются — это Бэкон назвал *общим нервом*, где образы от обоих глаз объединяются для получения единого зрительного впечатления. На концах оптических нервов формируются глазные яблоки. Каждый глаз состоит из трех туник-оболочек, трех сред и *паутинной сети*. Задняя часть наиболее глубокой туники, которая соединяется с

внутренней оболочкой оптического нерва, есть *рeтина*, содержащая вены, артерии и тончайшие нервные волокна. Передняя часть этой сокровенной оболочки есть *увея*, или виноградная оболочка, названная так, поскольку отверстие в ее передней части (наш зрачок) походит на виноградину, у которой удален стебель. Вторая оболочка, тянущаяся из срединных слоев оптического нерва, есть *секундина* в своей задней части и *корнея* в передней. Последняя тверда (подобна рогу, роговица) и прозрачна, поскольку должна одновременно защищать глаз и пропускать в него зримые образы. Самая дальняя от центра оболочка, сформированная из третьей оболочки оптического нерва, состоит из того, что называют белком глаза: *склеры* в задней части и *консолидaтивы*, или конъюнктивы, спереди. В использовании этой терминологии Бэкон допускает неточности: обычно он следует арабским авторам, которых называет *перспективистами*, и ссылается на них. Иногда он дает общие названия оболочек: входной — увея, второй — корнея, а третьей — консолидaтива. Иногда переходит на двойные обозначения для каждой из двух поверхностей трех оболочек.

По Бэкону, в глазу существуют три среды, заполняющие внутренность этого органа. В задней части глаза находится *стекловидное тело*, похожее на плавленное стекло. Перед ним расположен *хрусталик*, или внешнее ледяное тело, подобный кусочку льда или горного хрусталя. Эти две среды охватываются паутиной сеткой и вместе называются *ледяной средой*. Перед этими средами снаружи от сетчатки, заполняя апертуру увеи и протягиваясь до роговицы, находится среда, похожая на яичный белок.

Ретина питает стекловидное тело, которое частично пропускает это питание в хрусталик. Белковое тело есть избыток вещества хрусталика. Роговица и три среды прозрачны для света при прохождении через глаз и оптический нерв, наполненный стекловидной средой, к общему нерву. Акт видения начинается в хрусталике — вместилище зрительной силы глаза, «который подвергается воздействию входящих образов». Бэкон так защищает эту позицию: «Если переднее ледяное тело травмируется, тогда как другие сохраняются, зрение разрушается. Но если передний хрусталик цел, а травмируются другие, сохраняя прозрачность, зрение не исчезает. И до тех пор, пока сохраняется прозрачность внутри ледяной среды, напоминая протяженную прозрачность воздуха, зрение не повреждается, снабжение внешней ледяной среды сохраняется».

Непоследовательность Бэкона проявилась в допущении истечений из глаз, способных участвовать в зрительном процессе. Его аргументация с курьезным признанием того, что внутренний свет глаза действительно может заменить внешний свет и цвет, — заметная уступка экстремистам. Но Бэкон не хочет расставаться с представлениями, по которым только свет и цвет воздействуют на зрительную силу глаза. Зрение начинается тогда, когда свет и цвет создают впечатление как разновидность силового воздействия на хрусталик. Завершается акт зрения тогда, когда образы проникают через глаз в оптический и общий нерв, где размещается окончательно чувствующее начало. Доказательством для Бэкона являлось явление двойного видения.

Нормальные глаза устроены так, что образы, исходящие из данного предмета в поле зрения, достигают обоих глаз наблюдателя, устремляются к общей

точке общего нерва и создают объединенное изображение. Однако если один из глаз силой выведен из нормальной позиции, то образы будут достигать различных точек общего нерва; в результате изображение двоится. Бэкон также приводит аргументы, изложенные выше: только необратимый вред общему нерву окончательно разрушает зрение. Он подытоживает свою позицию по вопросу локализации зрительной способности: «Не только глаза выносят толкование касательно видимых объектов; но суждения начинаются в глазах и заканчиваются окончательной чувствующей силой, источником зрительной способности, расположенной в общем нерве. Равно является истинной, что глаза ощущают, а не только общий нерв. Но поскольку глаза соединены с источником зрительной силы, и она течет из этого источника к глазам, то чувство распространяется через полый оптический нерв от хиазма к глазам, как и утверждал Альхазен. Следовательно, акт зрения един и неразделим и реализуется сразу и глазами, и общим нервом».

Для анализа чувствительной способности хрусталика Бэкон возвращается к геометрическим рассуждениям. Излучение происходит по всем направлениям из всех точек поля зрения и падает на глаз набором конусов или пирамид, каждый с основанием в видимом предмете и с некоторой точкой в глазу в качестве вершины. Если бы каждая точка на поверхности хрусталика воспринимала пирамиду, излученную внешним полем зрения, то образы ото всех точек поля зрения должны были бы перемешиваться. Решение Бэкон ищет по Альхазену: в ограничении нашего внимания одной частной пирамидой — той, что состоит из лучей, направленных прямо к центру глаза и перпендикулярно падающих на самую внешнюю поверхность — роговицу. Эти лучи проходят через нее без преломления, усиливаются и падают перпендикулярно на внешнюю поверхность хрусталика. Ее они проходят без преломления. Поэтому роговица и внешняя поверхность хрусталика должны быть концентричны. Эта пирамида, состоящая из перпендикулярных образов, есть пирамида первичного зрения. Ее лучи основные, они образуют конфигурацию видимого объекта или поля зрения, поскольку падают и распространяются прямо к вершине глаза.



Основные аспекты теории видения Бэкона заимствованы им у Альхазена. Формы, или *species* (образы), испускаются во всех направлениях из каждой точки поля зрения. Излучение, которое по кривой траектории попадает в глаз наблюдателя, преломляется и ослабляется. Лучи, падающие перпендикулярно, которые являются единственно эффективными для зрительного восприятия, образуют зрительный конус, который дает математические характеристики зрительного восприятия. Физика восприятия также была объектом пристального внимания со стороны Бэкона. Он развил ее в теории увеличения количества образов, которые воспринимаются внутри глаза в линзах хрусталика, затем передаются через *оптический путь*, как это описано Галеном и Хунайном Ибн Исхаком, в мозг.

Бэкон стремился объединить противоречивые научные взгляды. Он счел теорию Альхазена убедительной, но не захотел отказываться и от авторитета Платона, Евклида, Птолемея, Блаженного Августина и аль-Кинди. Таким образом, Бэкон предпринял попытку доказать совместимость мнений этих мыслителей относительно оптики: их знания могли быть частичными, но ни

одно из них не было ложным. Он решил узнать, являлись ли преобразование среды, предложенное Аристотелем, *формы* Альхазена и *образы* Гроссетеста одним и тем же явлением. Бэкон думал, что это так.

Более сложной была проблема примирения интрамиссионной теории Аристотеля и Альхазена с экстрамиссионной теорией Евклида, Птолемея, Августина и аль-Кинди. Бэкон решил эту задачу, хитроумно объяснив, что хотя Аристотель и Альхазен были правы, утверждая, что проникновение лучей является непосредственной причиной видения, ничто в их трудах не исключало исходящих из глаза излучений, служащих для улучшения света, или случайных образов, как бы подготавливающих способность зрительного восприятия.

Итак, в рамках новой науки *Перспективы* Бэкон предложил синтез знаний греков и арабов по оптике, оказывавший большое влияние на оптическую науку на протяжении более трех столетий. По европейским университетам были распространены рукописные копии бэконовских работ по оптике и его идеи, изложенные в учебниках его современников Вителло и Пеккама. В то же время продолжали распространяться и направлять развитие знаний в области оптики и работы Альхазена. Традиция *Перспективы*, включая достижения Альхазена и других греческих и арабских авторов, развивалась на протяжении XIV–XVI вв.

16.5. «ПЕРСПЕКТИВЫ» ПЕККАМА И ВИТЕЛЛО

Иоанн Пеккам стал преемником Килвордби на архиепископской кафедре Кентербери. Он тоже был францисканцем и воспользовался своей властью для того, чтобы возобновить 29 октября 1284 г. вероучительное осуждение, вынесенное его предшественником. А в 1286 г. им был наложен запрет на некоторые положения, сформулированные английским доминиканцем Ричардом Клепуэллом. Личный взгляд Пеккама определен в письме к епископу Линкольна от 1 июня 1285 г., которое помогает представить основные вероучительные позиции, боровшиеся друг с другом: «Мы ни в коем случае не осуждаем изучение философии, поскольку оно служит постижению теологических тайн, но мы осуждаем мирские языковые новшества, вводимые на протяжении 20 лет при рассмотрении глубоких теологических вопросов. Эти новшества противоречат философской истине и наносят ущерб Святым Отцам, к чьим позициям относятся с пренебрежением и даже с явным презрением. Какое учение более прочно и здраво: учение детей св. Франциска, то есть блаженной памяти брата Александра [из Гэльса], брата Бонавентуры и подобных им, которые в своих трактатах, не заслуживающих ни единого упрека, опирались на Святых Отцов и философов, или же это недавнее учение, почти во всем противоречащее первому, которое заполнило мир словесными перепалками, всеми силами ослабляя и разрушая то, чему учит Августин о вечных правилах незыблемого света, о способностях души, о включенном в материю семенном разуме и о бесчисленных вопросах того же рода; пусть изобретателей этого учения судят древние Отцы, поскольку они обладают мудростью, пусть судьей им будет Бог, и пусть Он им даст целебное средство» [27], [309].



Пеккам осуждает не философию вообще, а лишь неуместное использование некой ложной философии. В отличие от запретительных действий Килвордби, которые совершались у него на глазах, сравнение двух учений Пеккам конкретизирует противопоставлением двух орденов: августинизм — у францисканцев, аристотелизм — у доминиканцев. Если перечислить некоторые пункты, по которым эти две группы противостоят друг другу, то первые три пункта, пришедшие Пеккаму на ум, таковы: учение о Божественном просветлении, реальное единство возможностей души и сущности души и «семенной разум».

Пеккам остался верен Святым Отцам и в науках, написав трактаты «О сфере», «Теория планет» и «Основы математики». В них он продолжает оксфордскую традицию Гроссетеста и Бэкона. Возможно, неверно говорить о существовании в Средние века единой оксфордской школы, но «дух Оксфорда» существовал и в XIII в. [27]. Доказательством этой преемственности стал трактат Пеккама по оптике, который он озаглавил «*Perspectiva Communis*» («Общая перспектива»), следуя стопами старших братьев-францисканцев Гроссетеста и Бэкона. Трактат был написан в период между 1270 и 1277 гг. (рис. 16.7). Анализируя в нем природу света и механизм зрительного восприятия, Пеккам попытался решить почти невыполнимую задачу: примирить точки зрения античных авторитетов (Аристотеля, Евклида), арабских мыслителей (аль-Кинди, Альхазена, Аверроэса) и своих христианских предшественников — Августина, Гроссетеста и Бэкона. В трех книгах сочинения рассматриваются законы распространения света, его отражение, преломление, образование различных цветов, устройство глаза, принцип и психология зрения, визуальные явления. Свет Пеккам рассматривает в трех аспектах: в себе, т. е. в своем источнике; в прозрачной среде; в пределе прозрачного, т. е. явленным в цвете. Здесь налицо обратное влияние метафизических концепций световой иерархии на выводы физической оптики.

Труд Пеккама был стандартным университетским учебником по оптике и зрению более 200 лет, с XIV по XVI в. Первое печатное издание «Общей перспективы» появилось в 1482 г. Между 1482 и 1665 гг. этот текст выдержал 12 печатных изданий, включая перевод на итальянский. Он пользовался большой популярностью в средневековой Европе, среди мыслителей эпохи Возрождения (Гиберти, Леонардо да Винчи) и даже у ученых XVII в. (Кеплер) [274].

Текст трактата разделен на три книги — свойства света, отражения и преломления. Издание имеет отличные иллюстрации: гравюры по дереву, среди которых схемы строения глаза — одни из самых первых печатных изображений.

Аналогичные изображения, скопированные с книги Пеккама, находят в более поздних изданиях, например в «Жемчужине философии», вышедшей через 22 года после первого издания Пеккама (рис. 16.8).

«Общая перспектива», несмотря на относительную краткость и минимальное по сравнению с «Перспективой» Бэкона использование математики, была авторитетным источником в первую очередь в связи с высоким церковным саном автора. Она сыграла существенную роль в пропаганде оптического знания в период позднего Средневековья.



Рис. 16.7

Лист

из «Общей перспективы» Пеккама.
 Рукопись начала XV в.
 из личной библиотеки
 Николая Кузанского [251]

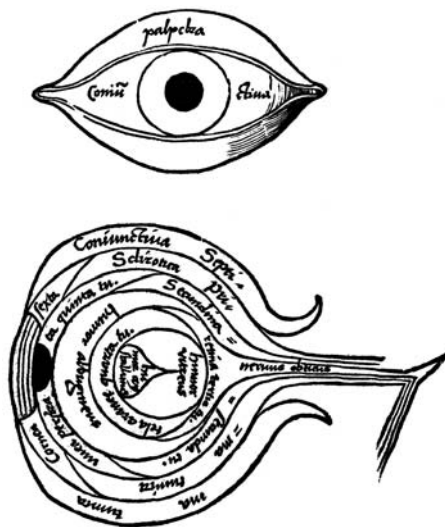


Рис. 16.8

Рисунок глаза

из «Общей перспективы» Пеккама.
 Воспроизведен в трактате
 «Margarita Philosophica» [253]

Что касается Вителло (рис. 16.9), то его «Перспектива», опубликованная позднее одноименного трактата Бэкона, тоже сравнивалась с последним. И если отношение университетского схоластического сообщества к сочинениям Бэкона было, мягко говоря, настороженным — все помнили о годах его официального осуждения, то работа приближенного к папскому престолу поляка Вителло не могла вызывать подозрений в отклонении от католической ортодоксии. Правда, превосходящий все остальные «Перспективы» объем его труда, сухое изложение и слепое следование Альхазену сузили аудиторию читателей Вителло. Тем не менее его «Перспектива» была настольной оптической энциклопедией всех ведущих ученых-оптиков XVI–XVII вв. Эта книга входила в программу ведущих университетов Европы и считалась обязательной для изучения студентами, чья дальнейшая специализация была связана с математикой и оптикой.



Рис. 16.9

Эразмус Вителло во время
 пребывания в Падуанском
 университете [376]

Вителло стал первым польским ученым, труды которого, и в первую очередь методически отработанный учебник оптики, получили международное признание. Подробному анализу оптического трактата Вителло посвящена пятая часть настоящей книги. Здесь же, опираясь на работы польских историков науки [376], попробуем кратко описать жизнь и творчество их знаменитого соплеменника.



О жизни Эразмуса Чёлека Вителло известно мало. Дату его рождения различные авторы относят к 1230–1237 гг., а смерти — после 1281 г., но не позднее мая 1314 г. Долгое время единственным источником сведений о жизни и деятельности Вителло был его труд, посвященный оптике. О своем происхождении ученый пишет во вступлении к «Перспективе», содержащем посвящение Виллему из Мёрбеке: «Veritatis amatori Fratri Guilielmo de Morbeta, Vitello filius Thuringorum et Polonorum». Исследователи показали, что Вителло не зря на первом месте указывает своих предков из Тюрингии — его отец был немцем, прибывшим в Силезию из Тюрингии, а мать — полькой.

После изобретения книгопечатания первыми «Перспективу» Вителло издали в 1535 г. математик и астроном Георг Танстеттер и баварский астроном и картограф Петр Апиан. В 1572 г. труд Вителло (вместе с «Сокровищем оптики» Альхазена) вышел в издании Фридриха Риснера. Именно это издание является наиболее известным и содержит критическое изложение биографических сведений об авторе, собранных издателем. В 1921 г. жизнеописание Вителло обогатилось благодаря открытию и опубликованию Биркенмайером текстов «О природе демонов» и «О первопричине раскаяния», являвшихся частями единого трактата, написанного Вителло в Падуе.

Учился Вителло по классу тривиума, а затем квадриума в соборной школе Вроцлава. В возрасте 15 лет отправился продолжать образование в Париж, где пребывал в течение шести лет и получил степень магистра искусств. С 1262 по 1268 г. он преподавал право в Падуанском университете, где, как сообщается в труде «О первопричине раскаяния», этот трактат был написан, а затем выслан в Силезию. В Падуе Вителло глубоко изучал каноническое право. В 1268 г. он был приглашен к папскому двору Григория X в Витербо и там встретил папского исповедника, доминиканца Виллема из Мёрбеке, блестящего знатока греческого, который специально для Вителло перевел на латынь несколько античных трактатов. Вителло интересовали труды греческих и арабских ученых. В 1274 г. он стал капелланом короля Пржемысла II Отакара в Праге. Последние годы жизни провел в Легнице как приходской священник церкви Св. Петра.

В литературе закрепилось несколько вариантов написания латинизированной формы имени ученого: Вителло, Вителио, Вителон. Польские исследователи сочли форму Вителло латинским переводом польской фамилии (от *lat.* vitellus — теленок) и сделали обратный перевод на польский — Чёлек. В XIX в. были проведены серьезные исследования рукописей и других исторических документов, в результате которых выяснилось, что единственно правильной формой имени ученого является Vitelo.

Свой обширный трактат «Перспектива» Вителло разделил на десять книг. Первая почти целиком посвящена геометрическим аксиомам и теоремам, необходимым для понимания оптических построений. Три последующие книги содержат описание *прямого* способа видения (первый тип зрения). Этот термин обозначает визуальные эффекты, или *претерпевания*, возникающие

при отсутствии на линии зрения зеркальных, преломляющих или затеняющих поверхностей. Во второй книге изложение ведется на языке зрительных (лучевых) пирамид, встречающихся еще у Евклида, конусов с вершиной в центре глаза (*точке зрения*), опирающихся на рассматриваемый предмет, от которого распространяются зрительные формы-образы. Говорится и о пирамидах освещения, начинающихся в точке светоносного тела и заканчивающихся на освещаемой поверхности. В третьей книге описано строение глаза, а в четвертой перечисляются оптические иллюзии, отнесенные к первому типу зрения.

Книги с пятой по девятую посвящены особенностям разного рода отражений в зеркалах различных форм, а также методам нахождения самих изображений и *блестящих точек*, из которых отраженные образы попадают в глаз наблюдателя. Этот *зеркальный* способ видения (второй тип зрения) излагается в той же последовательности, что и в трактате Альхазена «Сокровище оптики». Сначала идут общие теоремы об отражениях, затем — свойства плоских зеркал, потом описываются выпуклые сферические, цилиндрические и конические зеркала. Далее Вителло переходит к сферическим вогнутым зеркалам, наиболее сложным по своим оптическим претерпеваниям из-за эффектов переворачивания изображения. В девятой книге говорится о неправильных (асферических) зеркалах, проводится начальный анализ зеркальных поверхностей конических сечений и разбирается практически значимый для того времени случай зажигательных зеркал.

Заключительная книга посвящена третьему способу видения, когда зрительные лучи *преломляются* на поверхностях прозрачных сред. Речь идет о плоских границах, но рассмотрены и линзоподобные стекла, хрустальные полусферы и плосковыпуклые сегменты. Краткость и отрывочность этого раздела объясняются просто: если почти все особенности отражений были известны еще грекам, то закон преломления был установлен лишь в XVII в., т. е. через 500 лет после появления рукописного трактата и через 200 лет после его печатного издания.

Вителло пишет в Витербо свою «Перспективу» примерно в то же время, когда Иоанн Пеккам творит в Оксфорде свою «Общую перспективу». Достоверно невозможно определить их взаимное влияние, но очевидно, что оба они были знакомы с трудами Бэкона. Полагают, что Вителло, оставаясь под сильным влиянием Альхазена, изучил трактат Бэкона и одновременно сам влиял на взгляды Пеккама.

Известно, что труд Вителло имел в своей библиотеке Николай Коперник (рис. 16.10). Георг Ретик, навещая в 1539 г. великого астронома во Фромборке, подарил ему три трактата: научный труд Апиана «Инструмент первого движения» (рис. 16.11), астрологический труд Гебера «Об астрономии» в девяти книгах, а также «Перспективу» Вителло в издании Танстеттера и Апиана. Экземпляр, принадлежавший Копернику, в настоящее время хранится в книжном собрании университета в Упсале [376]. Среди ученых XV в. трактат Вителло изучал Региомонтан, автор научных трудов по математике и астрономии. Он упоминает Вителло во вступлении к работе арабского ученого аль-Фаргани. Ученик Региомонтана астроном Гвалтерус, автор математических таблиц Эразм Рейнхольд и врач из Виттенберга Гаспар Пойсер,



Рис. 16.10

Портреты двух самых выдающихся польских ученых эпохи средневековья: Вителло и Коперника [376]

а также бельгийский математик XVI в. Антони Гогана — все они упоминали вителловскую «Перспективу». В XVI в. «Перспективой» Вителло были увлечены и многие другие ученые, начиная с Пьера Раме (Рамуса), видного французского философа и математика, погибшего в Париже в Варфоломеевскую ночь 1572 г.

Трактатом Вителло интересовался и Леонардо да Винчи. В Атлантическом кодексе имеется примечание, сделанное в конце XV в. во время пребывания художника в Медиолане: «Возьми книгу Вителона». Примерно через десять лет, скорее всего в 1506–1507 гг., при посещении Павии Леонардо записал: «Постарайся достать Вителона, который находится в библиотеке в Павии и касается математики». В Мадридском кодексе приводится список книг, имевшихся у Леонардо. Среди 116 позиций также упоминается Вителон. Очевидно, что труд польского ученого его очень заинтересовал, к некоторым вопросам, затронутым в «Перспективе», Леонардо обращается в «Трактате о живописи». Произведение Вителло читал и друг Леонардо — Лука Пачоли. В «Сумме математики» Пачоли написал: «Этот принцип я почерпнул у пытливого автора „Перспективы“, который именовался Вителон. Помню, что читал я его в библиотеке братии Сан-Марко во Флоренции».

Особый интерес в связи с Вителло представляет трактат Иоганна Кеплера «Дополнения к Вителлию...» («Ad Vitellionem Paralipomena...») [232]. Он был издан во Франкфурте и в 1604 г. подарен автором немецкому кайзеру Рудольфу II. Из заголовка следует, что Кеплер решил написать «приложение» к Вителло, как бы дополнение (*paralipomena* по-гречески означает «пропущенное»). Кеплер был творцом новой оптической науки XVII в., и многие историки науки считают «Дополнения...» первым научным трудом, посвященным современной оптике. Труд Вителло, таким образом, был для Кеплера своего рода символом минувших времен. «Перспектива» представляла собой, по убеждению тогдашних ученых, пособие по средневековой науке в области оптики. Вступая в новые времена, Кеплер открывал их полемикой с Вителло, которого мог считать выдающимся представителем предшествующего этапа развития оптики.



Рис. 16.11

Титульный лист труда Петра Апиана «Инструмент первого движения»

16.6. ЗАКОНЫ ПЕРСПЕКТИВЫ: СРЕДНЕВЕКОВЬЕ И РЕНЕССАНС

Средневековая наука *Перспектива* родилась в процессе трансформаций античной оптики и арабской *аль-Маназир*. В обоих ее источниках, помимо рассуждений о природе света и механизме зрения, была значительная доля геометрических построений, касающихся различного рода претерпеваний, т. е. формирования зримых образов с видимыми искажениями. Причем для трех основных типов визуальных восприятий (прямого, отраженного и преломленного) эти особенности подробно классифицировались и изучались. Они легли в основу теории перспективных искажений, проникшей в научные трактаты и деятельность художников, скульпторов и архитекторов.

Скенографические коррективы в Античности были основаны на теории зрительных лучей Евклида, в то время как их прямые потомки — приемы ренессансной перспективы — оказались продолжением построений средневековых арабских и европейских оптиков.

В ранней Античности появились первые указания на то, что прямая видится кривой, а кривая — прямой; колонны, чтобы не казаться изогнутыми, приобретали кривую энтазиса, а эпистиль и стилобат возводились искривленными именно для того, чтобы избежать впечатления прогиба. Курватыры дорических храмов свидетельствуют о применении такого рода знаний. Евклид учил (теоремы 9 и 22 его «Оптики»), что прямой угол, рассматриваемый издали, выглядит округлым, а дуга при определенных условиях превращается в прямую линию. Об этом же писали Аристотель и Диоген Лаэртский. Эти выводы распространялись и на материальные объекты: считалось, что строго четырехугольные вертикальные башни кажутся издали цилиндрическими и наклонными.

Античное искусство учитывало сфероидальные изменения формы видимых вещей. Этот факт дает основания считать, что греческая оптика в отношении изменения величин, положений и ориентаций была гораздо более приспособлена к подлинной структуре субъективного зрительного впечатления, чем ренессансная перспектива. Представляя поле зрения шарообразным, античные исследователи исходили из того, что видимые величины (как проекции предмета на глазное яблоко) определяются не удалением объекта от глаза, а величиной угла зрения: «Вершина конуса зрения находится внутри зрачка и является центром сферы» [162]. В соответствии с седьмой теоремой Евклида и приемами античных скульпторов необходимо было увеличивать кверху пропорции высоко расположенных статуй. Это делалось для противодействия их визуальной сжатости, обусловленному сокращением угла зрения. Римская колонна Траяна в качестве примера и соответствующие цитаты из Витрувия хорошо известны.

Там, где речь идет о прямой проекции изображений, Ренессанс тоже обращается к античной *перспективе угла*. Дюрер советовал строки надписи, которые нужно поместить на стене дома так, чтобы они производили впечатление равной высоты, несколько увеличивать кверху, чтобы уравнивать соответствующие углы зрения. Леонардо, не упоминая об этом прямо, подразумевает аксиому угла в своем учении о «естественных» сокращениях боковых частей изобразительной плоскости [59].

Можно утверждать, что в вопросах, касавшихся линейной перспективы, Ренессанс был более евклидовым, чем Средние века, которые знали Евклида из нескольких видоизмененных арабских переводов, где искажалась или вообще отсутствовала его седьмая теорема. Этим грешит оптика Альхазена, а у Вителло говорится: «Все, что видится под бóльшим углом, кажется бóльшим, и что под меньшим — меньшим; из чего очевидно, что одно и то же, видимое под большим углом, кажется больше себя самого, видимого под меньшим углом. И в целом сообразно соразмерности угла устанавливается соразмерность предмета, видимого прямо или под тем же наклоном, однако в видимых наискось [предметах] или в тех, из которых один видится прямо, а другой наискось, — не так» [284].

Таким образом, та часть средневековой *Перспективы*, которая развилась из скенографического раздела греческой оптики, непосредственно повлияла на будущее искусство, породив совершенно определенные методы работы мастеров эпохи Возрождения [59]:

- методы живописцев, желающих изобразить здания и при этом передать их кажущиеся, а не истинные размеры;
- методы архитекторов, которые должны применять не прекрасные с абстрактно-математической точки зрения пропорции, а скорее *видимую соразмерность*, т. е. субъективно совершенную форму;
- методы скульпторов, создающих статуи, согласованные со зрительным впечатлением динамики всего произведения.

Античная *глазоцентрированная* оптика давала рецепты антиперспективных методов коррекции, а не правила перспективного изображения. Неясно, на каком основании утверждается, что древние считали скенографию «оптикой в узком смысле слова» [188].

У Витрувия в «Десяти книгах об архитектуре» речь идет не о точно перспективном методе, а скорее о существовании проекционного центра, заменяющего глаз наблюдателя. В полном согласии с аксиомой угла в античной оптике и с сохранившимися памятниками фресковой и вазовой живописи получается результат, когда продленные в глубину линии, едва сходясь, соединяются попарно в нескольких точках, лежащих на вертикальной оси, так, что возникает впечатление «рыбьего хвоста» [59]. Принцип оси схода для античного изображения был важен, в то же время он отличается неустойчивостью и внутренней непоследовательностью, не позволяющими установить единую пропорцию сокращений для каждого предмета, независимо от его расположения в поле зрения. Этот принцип не может произвести, например, согласованное сокращение размеров клеток шахматной доски. В Античности и в позднем Средневековье, когда во многих областях искусства снова стали использовать такой подход, это разногласие пытались прикрывать картушем, гирляндой, драпировкой или каким-нибудь иным «перспективным фиговым листком». В таких произведениях протяженность в глубину ощущается, но она не выражена определенным пространственным модулем; сокращенные ортогонали совпадают, но они не объединены общей линией горизонта, не говоря уже о каком-либо едином центре. Вообще для Античности и Средневековья весьма актуальным был спор о том, «сходились идущие в глубину параллели в одной точке или нет» [382]. Вителло в теореме 21 четвертой книги «Перспективы» вроде бы полемизирует с теорией точки схода, но

речь идет скорее о бесконечно большом от наблюдателя расстоянии, а с понятием бесконечности в это время еще не определились: «Линии будут казаться как бы сходящимися, однако они не будут сходиться где-либо видимо, потому что они всегда будут видны под неким углом» [284].

В античных стихах Лукреция, как и в оптической энциклопедии Агвилони, написанной во времена Рубенса, упоминаются параллельные ряды колонн с ограниченной протяженностью, которые не сходятся в одной точке, но лишь устремляются к невидимой вершине конуса: «Пусть кажется, что всякие параллели, проведенные весьма далеко, вследствие бесконечности расстояния вполне сходятся и между собой, и с оптическим лучом. Поэтому данная точка есть какой угодно знак этого оптического луча, удаленный бесконечно, т. е. на неизмеримое расстояние от глаза» [112].

Много позже Лукреция и Витрувия, но задолго до Альберти, Дюрера и Агвилони, Вителло в «Перспективе» объясняет, что две параллели, несмотря на свое непрерывное стремление друг к другу, никогда не смогут пересечься, и цепляется за математическое понятие точки. Он формулирует тезис, единственно возможный для средневековой *Перспективы*, незнакомой с понятием предела. Вителло имел дело не с законами изображения, а с законами зрения, и это подтверждает лишь то, что согласно математическим представлениям его эпохи понятие пространства не связано с понятием бесконечности. Таким образом, когда в Античности и Средневековье понятие «перспектива» воспринимается как *видение сквозь*, изображаемое пространство продолжает оставаться агрегатным: оно еще не становится тем, чего потребует и достигнет Ренессанс, — пространством систематическим [59].

Миссия Средневековья в истории искусства состояла в том, чтобы привести к подлинному единству то, что в Античности существовало как множество единичных вещей [327]. В византийских мозаиках произошло разрушение «перспективной» идеи; закон пространства, вырезанного рамой картины, начал вытесняться законом обрамленной поверхности, которая не пронизывается взглядом, но заполняется, в связи с чем приемы эллино-римского искусства утрачивали свою первоначальную функцию. Прежний *взгляд сквозь* начинал закрываться.

Пластика высокого Средневековья, так же как и живопись, пережила процесс переоценки ценностей и консолидации — она отторгла все остатки античного иллюзионизма и преобразила пронизанную светом и тенью поверхность в стереометрически замкнутую и расчлененную графическими контурами. По этому поводу точно выразился теоретик искусства Эрвин Паннофский: «Искусство высокой готики воскрешает в Вителло, Пеккаме и Роджере Бэконе античную оптику, а в Фоме Аквинском — аристотелевское учение о пространстве. Оно заставляет статую выступать из стены как самостоятельную форму, а рельефные изображения отделяет от фона почти как круглую скульптуру».

Подробно и аргументированно о влиянии готических мотивов на средневековых перспективистов вообще и на Вителло в частности написано в классической монографии «Вителло. Философ и естествоиспытатель XIII века» [128].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос об истоках, зарождении и развитии средневековой латинской оптики в формате науки *Перспективы* имеет важное историко-научное содержание. Впервые со времен «греческого чуда» в Европе возникла теоретически и экспериментально обоснованная область знаний, поддержанная достаточно разработанным математическим аппаратом.

Понять логику становления любой науки этого периода невозможно без анализа ее метафизического слежка. Родившаяся из античной оптики средневековая *Перспектива* содержала в себе существенную метафизическую часть, что было обусловлено основополагающим статусом света и познавательной ценностью зрения. Метафизическое содержание оптики было важнее, чем геометрические и математические построения. Отражения в зеркалах и преломления в прозрачных средах изучались не для расчета хода лучей, а для понимания процессов отражения действительности человеком или искажения зримых образов. Эстетика цветовых восприятий и постижение красоты были существеннее числовых соотношений белого и черного в красном или зеленом.

Наиболее полно в раннем Средневековье метафизика света представлена Блаженным Августином. Она достигла кульминации в учении Гроссетеста о том, что весь универсум есть результат мультипликации света из первоначально сотворенной точки [354].

По мере разработки христианской теологии трансформируется и развивается учение о свете. Разрабатывая учение об эманации Единого, по которому видимый свет есть проявление во тьме материи света умопостигаемого, его апологеты утвердили представление о бытии как световой иерархии.

Следующий шаг в развитии метафизики света и зрения был сделан на рубеже XII–XIII вв., когда латинская интеллектуальная жизнь обогатилась переводами арабских трактатов и комментариями античных учений. Вершина развития метафизических концепций, посвященных природе света и механизму зрения, совпала со временем возникновения первых университетов и расцветом высокой готики. Сам готический собор строят в расчете на снопы света, которые падают через проемы в стенах. Круговая символика католической витражной розы — зримый образ учения Гроссетеста о световых эманациях. Последовательное формирование все более разреженных световых оболочек порождает концентрическую структуру с Иисусом в центре и постепенно расходящимися к периферии лепестками заступников, святителей, апостолов и ангелов. Роза — это художественная иллюстрация идеи первоформы, сотворенной Богом в первоматерии, бесконечно умножающей самое себя и распространяющейся по всем направлениям.

Роберт Гроссетест — епископ Линкольна и духовный учитель Бэкона — был автором наиболее глубокой метафизической концепции света и зрения. Именно он может считаться истинным вдохновителем средневековой оптики в ее перспективистской форме. Его центральной идеей является свет, возникший, когда Бог создал первичную точечную частицу материи-света. После этого начинаются два процесса — испускание света во все стороны и диф-

ференциация, когда часть света возвращается обратно к центру. Эти процессы порождают небесные сферы и определяют подлунное пространство. Гроссетест считал, что, когда исчерпаны все возможности разрежения света, внешняя граница сферы образует твердь, отражающую свет к центру мира. Именно действие отраженного света последовательно порождает девять небесных сфер, из которых низшая — сфера Луны. Вслед за последней небесной сферой располагаются сферы огня, воздуха, воды и земли. Таким образом, Земля принимает и концентрирует в себе действия всех высших сфер, и на земной тверди можно обнаружить воздействие любой сферы.

Гроссетест первым провозгласил, что только геометрическая оптика, или «наука о перспективах», основанная на изучении «линий, углов и фигур», может открыть причины естественных явлений, становясь тождественной «естественной науке». Он утверждал превосходство двух фигур — сферы, так как свет умножается сферически, и пирамиды, оказывающей самое сильное воздействие одного тела на другое. Световая пирамида — это, с одной стороны, свет, исходящий от всей поверхности излучающего тела и сконцентрированный в одной точке. С другой стороны, это свет, расходящийся конусом от точечного источника и освещающий предметы окружающего мира.

Одним из фундаментальных положений средневековой метафизики стал принцип зеркального отражения. Между различными родами сущего были установлены отношения подобия и аналогии, а само познание трактовалось как отраженный сознанием ментальный образ сущего.

Актуальным вопросом Средневековья была проблема святости рукотворных икон. Борьба иконоборцев и иконопочитателей прямо соотносилась с учеными спорами о направленности зрительных лучей — от предмета к человеку или наоборот. Философские трактаты на эту тему полнятся рассуждениями о том, содержит ли изображение объекта в себе его свойства или как преобразованное изображение через глаза проникает в душу молящегося. Их авторы ссылаются не только на Священное Писание и богословские труды, но и на греческие рукописи по оптике.

На рубеже XII–XIII вв. последовательно появились перспективистские работы Роберта Гроссетеста, Альберта Великого, Роджера Бэкона, Вителло и Пеккама. Естественно, что форма и содержание этих христианских трактатов существенно отличались от языческих сочинений Античности. Средневековая теологическая мысль упорно искала достойное и гармоничное место этой новой (а на самом деле воскресшей и преображенной) науке среди «служанок теологии», в том числе в рамках формировавшихся университетских программ математического квадривиума.

Основным источником сведений о зрении для европейских студентов-медиков были комментарии и труды Галена. Широко распространились основанные на его работах арабские тексты, переведенные на латынь и ставшие источником знаний о строении глаза. В них античная экстрамиссионная «физиологическая» концепция повсеместно стала уступать место альхазеновской «геометрической» модели.

Роджер Бэкон сыграл ключевую роль в формировании основ средневековой латинской оптики на фундаменте совершенной Альхазеном оптической революции. Он не только обосновывал и пропагандировал познавательную

актуальность всестороннего изучения геометрии, но и пытался внушить собратьям (включая папу римского) мысль об исключительной полезности применения оптических приспособлений в деле укрепления христианской церкви. Последовательное внедрение математических доказательств и геометрических построений в оптические трактаты латинян произошло в том числе и благодаря его концепции математизации *Перспективы*. Определение, данное Бэконом *Перспективе* как экспериментальной (в схоластическом смысле) науке, оказалось актуальным не только для оптики, но и для более поздних разработок основ механики, акустики и баллистики. Его идеи — не напрямую, а через очевидное влияние на такие церковные авторитеты, как архиепископ Пеккам или викарий Вителло, — прочно укоренились в средневековой европейской интеллектуальной среде. Трактаты по *Перспективе* двух последних авторов уже с конца XIII в. и вплоть до эпохи Возрождения стали базовыми учебниками во всех университетах, где углубленно изучались дисциплины математического квадривиума.

Отдельного и более глубокого обсуждения заслуживает вопрос о влиянии средневековой оптики на художественный мир Ренессанса. В целом, верно то, что возвращение Ренессанса к античным истокам было характерно для всех сценографических приемов — архитектурных, скульптурных, живописных, т. е. визуальное пространство стало более евклидовским, нежели альхазеновским. Тем не менее идея независимых световых и цветовых пучков, обоснованная в средневековых экспериментах с камерой-обскурой, арabo-латинская модель глаза как приемника и фильтра внешних излучений и многие другие базовые постулаты науки *Перспективы* усваивались и передавались художественными школами эпохи Возрождения.

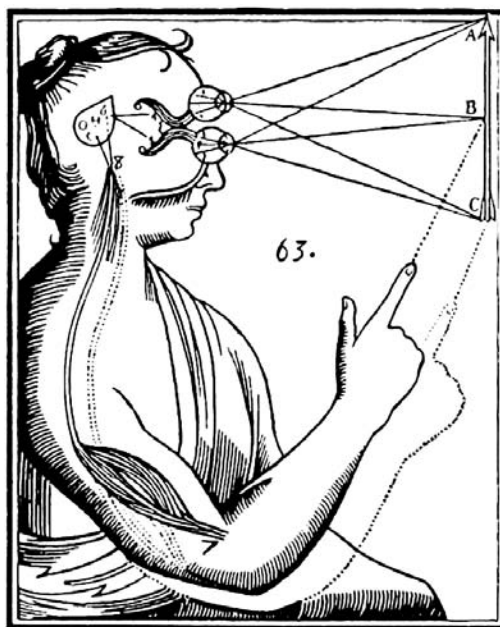
В заключение приведем замечание Дэвида Линдберга относительно влияния средневековых зрительных теорий на оптику XVII в. [252]. По его мнению, Кеплер, который представил свою теорию формирования видимых образов в 1604 г., пришел к ней вовсе не путем разрыва с предыдущими учениями, как это часто заявляют. Напротив, он извлек всестороннюю пользу из средневековой оптической традиции. Кеплер был озадачен условием бесполезности для зрения попадавших в глаз наклонных и, следовательно, преломляющихся лучей. Ему казалось более правильным, что излучение, немного преломляясь, слегка ослабляется и все же может играть роль в дальнейшем формировании зримых образов. Ему стало понятно, что хрусталик не есть чувствительный элемент, а играет роль линзы, расположенной как раз в том месте, где все лучи перемешиваются. Единственной разумной альтернативой было бы поточечное соответствие между точками поля зрения и точками сетчатки (ретины). Таким образом, Кеплер пришел к новой теории зрения, работая в рамках средневековой оптической традиции, принимая все ее базовые принципы, исправив ее маленькую, но ключевую ошибку.

ЧАСТЬ 4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРСПЕКТИВЫ

Достаточно одного луча Солнца,
чтобы рассеять множество теней.

Св. Франциск Ассизский



Геометрия бинокулярного зрения.
Поздняя иллюстрация к «Общей перспективе»
Иоанна Пеккама

ВВЕДЕНИЕ

Если предыдущие разделы формировались в основном по хронологическому принципу, то структура четвертой части учебного пособия отражает тематическое деление средневековой оптики на катоптрику, диоптрику и описание оптической системы глаза. Вопросы, которые интересовали средневековых схоластов более, чем геометрические теории, вынесены в Приложение 1, где сведены вместе рассуждения о ключевых проблемах механизма зрения, природы света или причин цветового разнообразия природы. Здесь же излагается математическая часть средневековой оптики, дабы познакомить читателей если не с существом, то с формой средневековых геометрических построений во всей их схоластической изощренности. Мы намеренно не слишком сильно адаптировали эти построения, полагая, что важнее показать своеобразие методической концепции, чем строгость доказательств в современном смысле. Формулировки этих доказательств являются, по сути, единственным примером схоластического учения, применяющего геометрию не к абстракциям (ноуменам), но к физическим явлениям действительности — феноменам. Идеи, положенные в основу теорем о локализации отраженных образов или гипотез об особенностях преломлений, оказались более востребованными в дальнейшей истории оптики, нежели собственно многословные рассуждения об отношениях отрезков, подобии треугольников или пересечениях зрительных лучей с зеркальными катетами.

Читателей, у которых нет особого желания разбираться в последующих геометрических построениях, можем уверить в том, что, даже пропустив доказательства всех цитируемых теорем, они вполне смогут составить определенное мнение о сути средневековой оптики. В этом случае рекомендуем, не теряя времени, перейти к заключительной части монографии, которая, по уже сложившейся традиции, свободна от любых математических формальностей.

ДОСТИЖЕНИЯ СРЕДНЕВЕКОВОЙ ОПТИКИ. КАТОПТРИКА

17.1. КАТОПТРИКА ИБН ЛУКИ И АЛЬ-КИНДИ

Средневековая мусульманская катоптрика родилась из катоптрики Евклида. Основные усилия арабских ученых были направлены на обоснование того, что Евклид всего лишь постулировал [350]. Первыми в этом ряду следует назвать Ибн Луку и аль-Кинди. Начав с рассмотрения постулата Евклида о том, что одно и то же видимое тело может быть воспринято в различных формах в зависимости от углов зрения, Ибн Лука приступил к своему исследованию в области зеркал [306].

Для иллюстрации рассуждений Ибн Луки возьмем в качестве примера теорему 28 его трактата по оптике. Он хочет знать причины, которые приводят к тому, что, стоя перед некоторыми зеркалами, можно не увидеть своего лица. О каких зеркалах идет речь и на каком расстоянии происходит этот феномен? В качестве ответа Ибн Лука приводит вогнутое сферическое зеркало при условии, что наблюдатель находится в геометрическом центре этого зеркала. Причина феномена заключается в том, что «луч зрения, испускаемый глазом в данном положении, отражается сам в себя». Для доказательства Ибн Лука рассматривает такое зеркало (рис. 17.1). Предположим, что дуга AB меньше полуокружности. Пусть E будет центром сферы и глаз находится в точке E . Проведем луч зрения между двумя радиусами EA и EB .

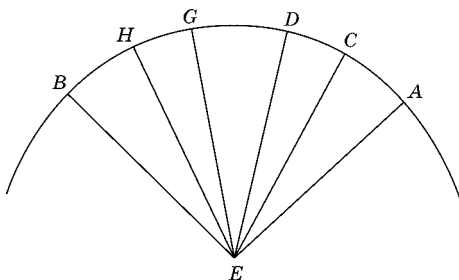


Рис. 17.1

Докажем, что этот луч отражается сам в себя.

Докажем, что этот луч отражается сам в себя.

Проведем из точки E к зеркалу AB столько отрезков, сколько захочется: т. е. EC , ED , EG , EH . Эти отрезки равны, и каждый из них падает на поверхность зеркала по нормали (под прямым

углом или, в формулировке Ибн Луки, под двумя равными углами). Итак, пишет Ибн Лука, «мы показали, что луч отражается от гладкого тела под двумя равными углами. Таким образом, если мы представим себе прямые EA , EC , ED , EG , EH , EB как лучи, которые встречаются гладкое тело (зеркало AB), то, поскольку они встречаются его под равными углами, каждая из прямых отражается сама в себя и, таким образом, все они отражаются в одну точку, которая является точкой E , и, значит, в зеркале AB мы не увидим ничего, кроме точки E ».

В этом доказательстве Ибн Лука прибегает к теоремам, близким ко второй и пятой теоремам «Катоптрики» Псевдо-Евклида. Подобно античному автору, он изучает, как объект появляется в зеркале на глазах у наблюдателя. Ибн Лука формулирует и другие утверждения, близкие к седьмой, одиннадцатой и двенадцатой теоремам «Катоптрики», что свидетельствует о знакомстве арабских мыслителей с трактатом Псевдо-Евклида.

Старший современник Ибн Луки аль-Кинди в первой теореме своей книги, посвященной зеркалам, показывает, что если источник света и освещаемое им тело представляют собой сферы одного и того же диаметра, то тень является цилиндрической в плоскости, содержащей оптическую ось. В плоскости, перпендикулярной оси цилиндра, тень представляет собой круг того же диаметра. И наоборот, если освещенное тело и тень, лежащая в нормальной плоскости, имеют один и тот же диаметр, значит, источник света представляет собой сферу того же диаметра [259].

Во второй теореме аль-Кинди доказывает, что если диаметр источника света больше, чем диаметр освещенного тела, то тень представляет собой конус, и тень, лежащая в плоскости, перпендикулярной оси конуса, представляет собой круг, диаметр которого меньше диаметра освещенного тела. Затем он показывает (теорема 3), что если диаметр источника света меньше диаметра освещенного тела, то тень представляет собой усеченный конус, и тень, лежащая в плоскости, перпендикулярной его оси, представляет собой круг, диаметр которого больше диаметра освещенного тела.

Эти три теоремы позволяют аль-Кинди продемонстрировать прямолинейное распространение лучей. Он добавляет еще три теоремы, предназначенные для дополнительного обоснования того же принципа. Так, в пятой теореме аль-Кинди рассматривает прямолинейный источник света ED (или точечный D) и освещенный объект AB (рис. 17.2). Он утверждает, что если тень представляет собой отрезок BG , то из опыта следует, что $BG : BA = EG : DE$, из чего следует, что точки D , A и G лежат на одной линии. Если бы на самом деле они не лежали на линии, то линия DG пересекла бы отрезок AB в точке U . Треугольники GBU и GED были бы подобными, и мы имели бы соотношение $BG : BU = EG : DE$. Сравнив два соотношения, мы получили бы $BU = BA$, что приводит к противоречию.

После установления прямолинейности распространения лучей аль-Кинди обращается к теории видения. Он напоминает основные учения, известные

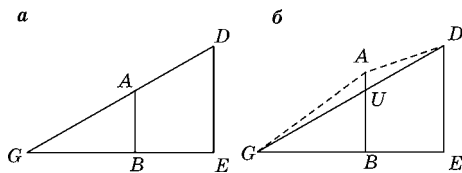


Рис. 17.2

со времен Античности, чтобы в конечном счете принять учение об испускании зрительных лучей из глаз. Аль-Кинди обосновывает свой выбор, приводя новые аргументы против старых доктрин, в основном против учения греческих атомистов о проникновении форм и учения Платона о проникновении и излучении форм. Критика сводится к тому, чтобы доказать внутреннюю противоречивость учения о проникновении целостных форм, не поддающихся расчленению. Учитывается и тот факт, что восприятие объекта находится в зависимости от его локализации в пространстве. Если бы учение о проникновении форм было верным, напоминает аль-Кинди, то круг, находящийся в той же плоскости, что и глаз, воспринимался бы во всей своей кругообразности, что является ложным. Тем не менее учение Евклида об излучении он тоже принимает с существенными поправками. Зрительный конус, в отличие от утверждения Евклида, не будет сформирован дискретными лучами, а будет выглядеть как объем непрерывных излучений.

В шестой теореме аль-Кинди доказывает равенство углов, образованных падающим и отраженным лучами с нормалью зеркала в точке падения. Доказательство этого закона является геометрическим и экспериментальным.

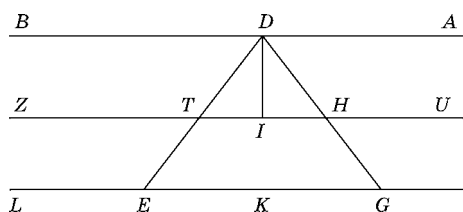


Рис. 17.3

Аль-Кинди помещает зеркало в плоскость AB и пластину UZ параллельно AB (рис. 17.3). Он рассматривает точку D на зеркале и проводит линию GD , которая пересекает UZ в точке H . На пластину UZ из точки D опускается перпендикуляр в точку I и откладывается отрезок $IT = HI$. В точках T и H проделываются круглые отверстия. Параллельно плоскости AB размещается другая пластина — KL . Экспери-

мент состоит в размещении источника света на отрезке DG или его продолжении и в доказательстве того, что отраженный луч будет отражаться по линии DE . Проверка экспериментальным путем стала составной частью длительной традиции, истоки которой прослеживаются в «Оптиках» Евклида и Птолемея и которая предстает во всей глубине в работах Альхазена.

Аль-Кинди рассматривает сферическое выпуклое и вогнутое зеркало, чтобы доказать, что в каждой точке сферы отражение луча происходит как бы от плоского зеркала, касательного к этой точке (теорема 18). В последующих теоремах он изучает положение виртуального изображения, формулирует идеи симметрии по отношению к зеркалу и исследует условия видимости размеров самого зеркала. Эта книга аль-Кинди, как и другие его работы, одновременно и следует доктринам древних ученых, и выступает против них. Аль-Кинди намеревается улучшить учение Анфимия Тралльского о зажигающих зеркалах своими дополнениями. Он задается вопросами: не принял ли Анфимий легенду о сожжении Архимедом римского флота за неоспоримую истину, даже не доказав, что такое возможно? Мог ли он работать над конструкцией зеркала, от которого 24 луча отражаются в одной точке, не определив, на каком именно расстоянии эта точка находится от зеркала?

Эти вопросы аль-Кинди рассматривает в последующих 15 теоремах.

Целью четырех первых теорем является исследование возможности построения зажигательного зеркала конической формы. Для этого аль-Кинди рассматривает систему, образованную двумя плоскими зеркалами, составляющими острый двугранный угол. Мысленно он вращает эту систему вокруг биссектрисы плоского угла, проведенной в срединном сечении системы. Итогом рассмотрения является утверждение о невозможности фокусировки подобной системой солнечного света в одну точку. Семь следующих теорем рассматривают конструкцию сферических вогнутых зеркал. Ось зеркала направлена к Солнцу, и аль-Кинди последовательно рассматривает семейство лучей, падающих на зеркало в его различных сечениях — AB , AB_1 и т. д. (рис. 17.4). Ученый доказывает, что для каждого сечения соответствующие отраженные лучи пересекаются с осью в одной и той же точке. Он различает несколько случаев в зависимости от отношения окружности AB , которая определяет сечение зеркала, к большей окружности сферы, которая его ограничивает; рассматривает на этом зеркале окружность с осью CD . Предположим, что Γ — одно из сечений, а L является его центром; C — вершина зеркала, E — центр сферы, $EC = EA = EB$ — ее радиус R и O — середина EC .

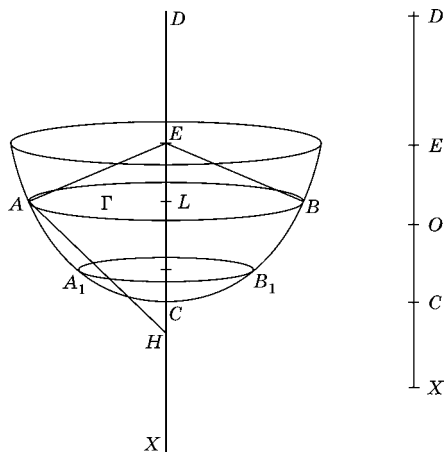


Рис. 17.4

Итак, можно резюмировать основные результаты работы аль-Кинди.

1. Солнечный луч, падающий в точку A сечения Γ , отражается в точку H оси CD . Точка H остается неподвижной, когда точка A описывает Γ .

2. Точка H зависит от выбора окружности AB , которая соответствует этому сечению Γ , где угол $AEB = \alpha$:

- когда α принадлежит интервалу от 0 до $2\pi/3$, точка H лежит внутри отрезка OC ;
- когда α больше $2\pi/3$, точка H , в которую устремляется отраженный луч, принадлежит полупрямой CX ;
- для каждого сечения Γ расстояние LH фиксировано. Легко установить, что

$$LH = R \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Таким образом, для зеркала, ограниченного полусферой с окружностью AB , при $\alpha = 2\pi/3$ отраженные лучи, соответствующие всем солнечным лучам, падающим на зеркало, концентрируются на осевом отрезке OC . Лучи, падающие вблизи от точки C , отражаются, проходя рядом с точкой O . Если угол α больше $2\pi/3$, но меньше π , то лучи, отраженные от зеркала, не достигают оптической оси и испытывают второе отражение, не создавая зажигательного действия.

После изучения сферического зеркала аль-Кинди возвращается к проблеме Анфимия Тралльского — к конструкции системы из 25 плоских шестиугольных зеркал, позволяющей отразить в одну и ту же точку солнечные лучи, падающие в их центр. Он доказывает, что если солнечные лучи параллельны оси центрального зеркала, то для системы из 13 зеркал задача проста. Но для 12 остальных рассматриваемые лучи отражаются в точку, отличную от точки, полученной для первых 13 зеркал. Доказательство аль-Кинди можно считать верным только в отношении шести зеркал, окружающих центральное зеркало.

В четырнадцатой теореме аль-Кинди ставит задачу построить зеркало «более совершенное, чем у Анфимия». На основе равностороннего многоугольника он строит правильную пирамиду, имеющую 24 грани, чтобы солнечные лучи, падающие в центр оснований этих граней, взятых как зеркала, отражались в одну точку оси пирамиды. Он определяет эту точку, рассматривая две симметричные грани по отношению к оси, но не доказывает, что точка остается той же, если взять любую грань. Заметим, что данный результат является очевидным, если учитывать плоскости симметрии правильной пирамиды.

Последняя часть трактата о зеркалах посвящена проблеме Диокла — Анфимия: сконструировать зеркало заданного диаметра, которое отражает лучи в заданную точку. Изложенный аль-Кинди способ является не чем иным, как конструированием параболического зеркала. По точкам и тангенсам строится парабола, центр и направляющая линия которой известны. Здесь идеи и методы такие же, как у Диокла и Анфимия, однако доказательство аль-Кинди более четкое по сравнению с доказательством, дошедшим до нас в греческом тексте Анфимия Тралльского.

17.2. ЗАДАЧА АЛЬХАЗЕНА

После введения в XVII в. Кеплером понятия фокусного расстояния стандартной задачей оптических расчетов стало нахождение величин и мест локализации действительных или мнимых изображений, строящихся линзовыми или зеркальными оптическими системами. Но перед средневековой катоптрикой (изображающей диоптрики не было вовсе) стояли совершенно другие задачи.

Свойства плоских зеркал, особенно после открытия закона отражения, были изучены в Античности: вспомним работы Архимеда, Герона и Птолемея [76]. Однако построения в сферических зеркалах вызывали затруднения, поскольку не существовало ни понимания основ параксиального (приосевого) приближения, ни параметров сферической аберрации. В то же время геометрическими методами определения отраженных образов занимались активно, это входило в обязательную программу катоптрических упражнений. Все методы были приближенными, и степень их адекватности различалась для зеркал разной кривизны и разного расстояния до отраженного ими объекта. Уровень разработанных геометрических построений был по сегодняшним меркам элементарным. Но одна катоптрическая задача, совершенно бесполезная для современной оптики, но весьма популярная в Средние

века, была поставлена и решена Альхазеном с величайшим геометрическим мастерством [344]. Ее изложению посвящена почти вся пятая книга «Сокровища оптики».

Отец оптики поставил перед собой задачу точно определить, в какой точке зеркала луч света, испущенный из данной точки B , должен отразиться к данному центру зрения A (рис. 17.5). Зеркало задается положением своего центра G и радиусом DG . Рассматривались зеркала с различной выпуклостью или вогнутостью в своих главных сечениях. Применительно к выпуклым и вогнутым зеркалам по отдельности проблема позже исследовалась некоторыми учеными XVII в., например Гюйгенсом, и в этом контексте стала называться задачей Альхазена. Свое общее геометрическое решение Христиан

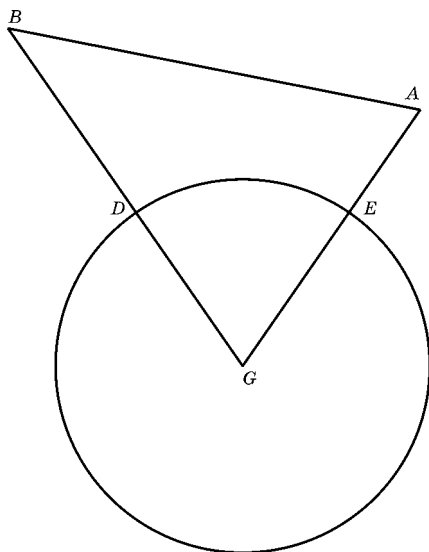


Рис. 17.5

Гюйгенс предложил в 1669 г. в письме к Генри Ольденбургу, секретарю английского Королевского общества. По его формулировке, принятой в дальнейшем всеми исследователями, задача Альхазена звучала так: «Для данного сферического (выпуклого или вогнутого) зеркала и данных точек зрения и радиации (излучения), обеих лежащих против зеркала, надо найти точку или точки отражения от данной поверхности».

Долгое время решение Альхазена признавалось недостаточным по сравнению с решением Гюйгенса и более поздних математиков [124], [135], [263]. Однако в работе 2008 г. Марк Смит доказал, что решение Альхазена было полным и достаточным, хотя по форме, безусловно, схоластическим [344]. Приведенная Смитом реконструкция убедительно показывает, что фактически решение Альхазена далеко не такое недостаточное в абсолютном смысле, а сам подход арабского ученого был «необычайно изобретательным, искусным и элегантным в своей концептуальной простоте». К сожалению, почти во всех работах, посвященных истории оптики (за исключением последних исследований Линдберга, Смита и Сабры), начиная с Льюэци и заканчивая Розенбергом, не только имя Ибн аль-Хайсама, но и сюжет о решенной им задаче оказываются искаженными.

Во-первых, указывая, что автор пытался решить проблему геометрически с помощью циркуля и линейки, историки отмечают, что точного решения таким способом не найти, и потому все построения Альхазена должны считаться либо частными, либо приближенными решениями. Действительно, нахождение блестящих точек на зеркале сводится к составлению уравнения второй степени для некруговых конических сечений. Кроме того, в тексте пятой книги «Сокровища оптики» содержится разбор ряда частных случаев, в которых задача решается циркулем и линейкой. Одно из таких решений по недоразумению вошло в историю оптики как основное, его даже изображали

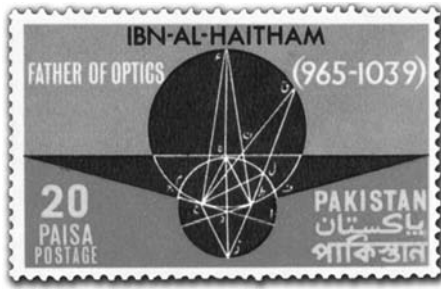


Рис. 17.6

на почтовых марках (рис. 17.6). Это построение соответствует случаю, когда окружность, проведенная через точки A , B и G , занимает по отношению к зеркалу определенную позицию: отрезок AG является ее диаметром, и, таким образом, ее центр лежит на нормали, опущенной из точки A в центр кривизны зеркала. Правда заключается в том, что это частное решение есть всего лишь один из многих пунктов в объемных рассуждениях Альхазена.

Во-вторых, из одной историко-научной книги в другую переходят тексты, описывающие метод решения Гюйгенса как определение точки касания эллипса, построенного на точках A и B как на фокусах, с окружностью зеркала. Очевидно, что эта точка (или точки, в общем случае вогнутого зеркала их может быть несколько) касания и есть решение задачи Альхазена. Однако истина состоит в том, что Гюйгенс не строил эллипсов — в его решении, так же как и у Альхазена, фигурирует построение ветвей гиперболы, асимптоты которой определяются через ряд геометрических пропорций. Ввиду того что семейства эллипсов и гипербол, построенных на одних фокусах, являются ортогональными, оба способа нахождения блестящих точек математически эквивалентны. В данном случае принципиальной оказывается близость геометрических трактовок Гюйгенса и Альхазена. Как будет показано ниже, и сам Альхазен применял почти во всех вариантах своих решений методику построения именно этой кривой второго порядка (гиперболы), предложенную еще Аполлонием Пергским в его «Конических сечениях».

Таким образом, проблема сама по себе была, безусловно, геометрически решена Альхазеном, но, в отличие от Гюйгенса, его решение не было общим, поскольку он подходил к задаче по частям в соответствии с типами кривизны, т. е. выпуклости или вогнутости. По этой причине он начал с того случая, который был проще, — с выпуклых зеркал, прежде чем перейти к более сложному случаю зеркал вогнутых. Второй случай труднее, поскольку в зависимости от конкретных позиций источника света и глаза могли возникнуть от одной до четырех точек рефлексии. Именно поэтому Альхазен постарался разбить задачу о вогнутом зеркале на ряд подзадач — по числу возможных точек отражения.

Решение Гюйгенса было, бесспорно, более элегантно, чем у Альхазена. Помимо всего прочего, оно было более общим и экономным. Несмотря на это, решение Альхазена, безусловно, элегантно в абсолютном смысле. Марк Смит убедительно продемонстрировал, что оно представляет собой правильное «приложение усилий» математических доказательств. В этом ключе пример задачи Альхазена показывает, насколько неправильно истолковываются или искажаются во многих современных источниках оптические знания Средневековья.

Вывод, который можно сделать из приводимого ниже анализа, таков: несмотря на неудачу в поиске общего решения, Альхазен предложил тип

решения проблемы, названной его именем. Две вещи выделяются в этом типовом решении. Первое — это концептуальная простота. Даже при относительной сложности геометрических доказательств, его конструкции достаточно прямолинейны, хотя и не вполне соответствуют классическому подходу циркуля и линейки. Второе — это изобретательность, с которой автор использует свойства гиперболических сечений для достижения некоторых из своих положений. Здесь очевидно влияние на Альхазена «Конических сечений» Аполлония.

В некотором смысле в приводимом ниже анализе нет ничего нового. Альхазеново решение проблемы уже было опубликовано ранее. Смит постарался прояснить эти решения в их базовой конструкции [344]. Для этого он сконцентрировался на построениях, частично игнорируя доказательства: не включены доказательства того, что найденные отражательные точки эксклюзивны, опущены изыскания Альхазена в области определения мест и условий нахождения отражений от определенной кривизны вогнутых зеркал.

Альхазен о выпуклых сферических зеркалах. Начнем, как и Альхазен, с поиска блестящей точки в выпуклом зеркале. В этом случае такая точка всегда единственна и находится между точками пересечения нормалей AG и BG с окружностью зеркала (см. рис. 17.5).

Дана окружность с центром в точке G , соответствующая сечению большего круга выпуклого зеркала радиуса $DG = EG$. Пусть B — источник света в плоскости этого сечения и A — произвольно выбранная точка зрения в той же плоскости. Альхазен сразу исключает два частных случая: во-первых, линия AB не должна пересекать окружность зеркала, поскольку тогда отражение отсутствует в принципе; во-вторых, отрезки BG и AG не должны быть равными, так как тогда решение тривиально — точка блеска делит дугу DE пополам.

Сформулировав два этих исключения, Альхазен переходит к доказательству двух вспомогательных лемм.

Лемма 1 (рис. 17.7). *Пусть DM — диаметр окружности, а точка C случайно выбрана на ней. Надо доказать, что возможно провести отрезок CPX из точки C через точку P на диаметре DM к точке X так, чтобы отрезок PX был равен некоторому заранее заданному отрезку HZ (слева на рисунке). Естественно, что величина HZ меньше самого диаметра DM .*

Для начала Альхазен предлагает соединить точку C с точками D и M и построить справа от окружности заданный отрезок HZ . Строятся два угла: RHZ , равный CMD , и LHZ , равный CDM . Таким образом, отрезок HL становится перпендикуляром к линии HR . Затем через точку Z проводится линия KZ параллельно HR и линия TZ параллельно HL . Тем самым формируется прямоугольник с вершинами в точках H , T , Z и точке Q пересечения линий HL и KZ . Далее наступает первый критический момент: Альхазен предлагает для решения первой вспомогательной леммы строить ветвь гиперболы по методу, изложенному во второй книге «Конических сечений» Аполлония [68]. Согласно ему для построения гиперболы требуется знать одну принадлежащую ей точку, а также две не проходящие через нее прямые, являющиеся ее асимптотами. Этой точкой Альхазен называет точку T , в которой пересекаются линии TZ и HR , а асимптотами предлагает считать линии KZ и HL .

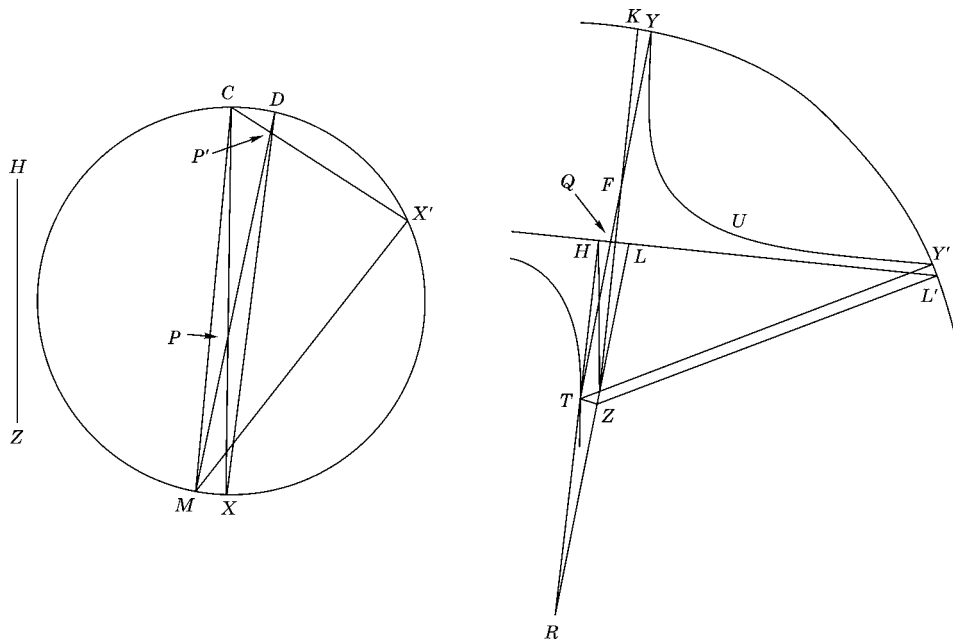


Рис. 17.7

Полученная ветвь гиперболы YUY' в последующих построениях сыграет главную роль в нахождении точки блеска выпуклого зеркала.

Из той же точки T Альхазен проводит окружность радиусом, равным диаметру DM , которая пересечет гиперболу в точках Y и Y' . Проводятся отрезки TU и TU' , равные DM , и отрезки LZ и $L'Z$, соответственно параллельные TU и TU' . Формируются углы DMX и DMX' на первом круге, равные соответственно углам HLZ и $HL'Z$ на фигуре справа. Проводятся линии CX и CX' через точки P и P' на диаметре DM до тех пор, пока они не пересекут окружность в точках X и X' . Из этого построения, как пишет Альхазен, очевидно, что отрезки PX и $P'X'$ оба равны наперед заданному отрезку HZ . Его доказательство основано на том, что треугольники DPX и HZR (где R — точка пересечения LZ и HR) равны, соответственно равны и стороны PX и HZ . Подобным образом оказываются равными треугольники $MP'X'$ и HZL' , вследствие чего $P'X' = HZ$.

Построение, доказывающее первую лемму, используется Альхазеном для доказательства второй вспомогательной леммы. Заметим, что пока в приведенных выше построениях не появилась ни одна из кардинальных точек задачи Альхазена — A , B или G . В результате построений второй леммы, приводимых ниже, Альхазен как бы восстанавливает положения точек B и G (они пока будут фигурировать как точки B' и G').

Лемма 2 (рис. 17.8). Пусть $D'N'T'$ — прямоугольный треугольник, в котором прямой угол образован сторонами $D'N'$ и $N'T'$, а угол $D'T'N'$ равен половине угла BGA на рисунке 17.5. Пусть некоторая точка Q' произвольно выбрана на стороне $D'N'$. Проведем прямую через точку Q' к некоторой точке G' на гипотенузе $D'T'$. Некоторая точка B' на продолжении стороны

$PDS = BGA$. Из всего построения, предложенного Альхазеном, следует, что угол падения BDE равен углу отражения ADE , откуда очевидно, что точка D и есть искомая точка блеска.

Здесь не приводятся все детали доказательства этого утверждения. В нем Альхазен демонстрирует, что PD есть прямолинейное продолжение AD . Это следует непосредственно из подобия треугольников PDS и PAG , откуда становится очевидным, что отрезки AP и PD формируют равные углы с линией GP , т. е. составляют разные части единой прямой линии ADP . Альхазен убедительно показывает, что тогда угол отражения ADE равен промежуточному углу PDG . Однако ему же равен и угол падения BDE . Следовательно, оба искомого угла равны одному и тому же углу и, значит, равны между собой.

Задача, безусловно, решена не приближенно, а точно. Метод ее решения, выбранный Альхазеном в соответствии с традициями геометрии его времени, для нас кажется «вывернутым наизнанку». Именно это, по-видимому, и не позволяло признать его полноту и точность ранее, при поверхностном анализе. Однако реконструкция Марка Смита расставляет все по своим местам: решение Альхазена для выпуклого зеркала содержит в себе все необходимые элементы доказательства. И хотя оно действительно основано на построениях циркулем и линейкой, его нельзя относить к классической традиции таких построений, поскольку уже в доказательстве первой леммы Альхазен применяет методику построения гиперболы, следуя в этом Аполлонию Пергскому.

Альхазен о вогнутых зеркалах. Вогнутые сферические зеркала представляют более сложную проблему, нежели выпуклые. С одной стороны, число возможных отражений варьирует от одного до четырех. С другой стороны, это число зависит от того, как точка источника света и точка зрения расположены по отношению к центру кривизны зеркала и его поверхности. Альхазен затрачивает значительные усилия для описания того, как эти расположения воздействуют на число отражений. В результате появляются три варианта доказательств, каждый из которых отвечает за определенный тип возникающих в вогнутом зеркале блестящих точек. Кроме того, в каждом варианте Альхазен демонстрирует, что определенные им точки отражений являются единственно возможными.

Для вогнутого зеркала и центр зрения в точке A , и точка излучения B , естественно, расположены внутри зеркала, как представлено на рисунке 17.10. Максимальное число отражений будет четыре, и только эти четыре возможности могут быть реализованы в следующем порядке: одна точка D на дуге FH , одна точка D_1 на левой полуарке KX внутри дуги KL и две точки D_2 и D_3 на правой полуарке LX внутри дуги KL .

Очевидно, что на дугах KF и LH точки отражения не могут возникнуть ни в каком случае. Это накладывает определенные ограничения на взаимное расположение точек A и B . В двух предельных случаях эти точки лежат на одном диаметре: либо по разные стороны от центра (и тогда дуги «невозможных отражений» вырождаются в точки, а число отражений равно максимальному — четыре), либо по одну сторону центра (и тогда эти дуги занимают всю окружность зеркала, за исключением двух диаметрально расположенных точек, которые и будут блестящими). Исключая эти тривиальные

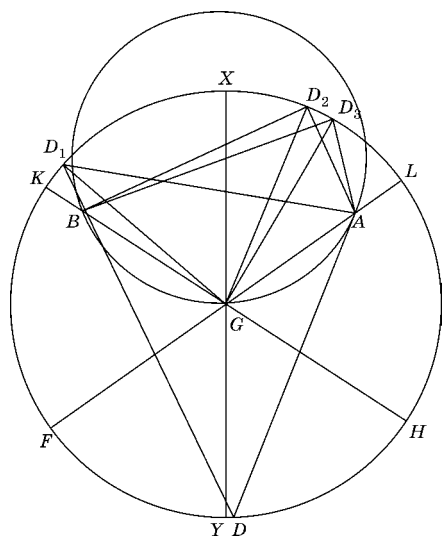


Рис. 17.10

дугу по обе стороны от точки X , то будет три отражения.

Следует заметить, что некоторые из формулируемых Альхазеном правил были установлены или предсказаны в четвертой книге Птолемеевой «Оптики». Но Птолемей не продолжил анализ и не предпринял усилий для точного определения тех мест, где именно лежат точки отражений в соответствии с описанными ограничениями. В этом отношении Альхазен проявил себя как исследователь, полностью независимый от Птолемея и концептуально, и методологически. Детальное сравнение обоих подходов к отражениям от сферических зеркал приведено в работе Марка Смита [344].

Здесь нет необходимости приводить громоздкие доказательства Альхазена для всех случаев вогнутого зеркала. Сначала он разбирается с точкой D , затем переходит к поиску точки D_1 и, наконец, предлагает методику для одновременного нахождения точек D_2 и D_3 . В ходе этих доказательств Альхазен использует примерно ту же обратную методику, что и для выпуклого зеркала. И так же, как и в предыдущем случае, сначала формулирует четыре вспомогательных леммы (номера с третьей по шестую), а потом три окончательных утверждения. И опять он использует ключевой прием: для всех трех вариантов решений строит ветви гиперболы, заданной ее асимптотами и одной точкой.

Метод Альхазена: выводы. Теперь становится очевидным, что метод Альхазена для разрешения задачи следует определенным схемам, начинающимся со вспомогательных лемм, которые распадаются на две категории. Первая посвящается целям построения отрезка некоторой данной длины из специфической точки на окружности к ее диаметру или через него.

Три леммы обобщают эту цель: лемма 1 посвящена построению прямой из данной точки на окружности через ее диаметр так, чтобы отсекал заданный отрезок между этим диаметром и противоположной дугой окружности; леммы 3 и 5 закрепляют проведение линии из заданной точки на окружности до продолжения диаметра за окружность так, чтобы отсекал заданный

схемы, для всех промежуточных расположений точек A и B Альхазен ищет частные решения на основе приведенной ранее классификации отражений — для точек D , D_1 , D_2 и D_3 .

Далее Альхазен устанавливает ряд общих закономерностей относительно числа точек отражения и мест их локализации. Он справедливо указывает, что точка D , соответствующая отражению от дуги FH , всегда единственна и возникает с той или другой стороны от точки Y в зависимости от соотношения углов BYG и AYG . В то же время, отражения от дуги KL (точки D_1 , D_2 и D_3) зависят от того, где окружность, проведенная через точки A , B и G , пересекает данную дугу. Так, если она пересекает

отрезок между дугой окружности и этой внешней точкой пересечения прямой и диаметра. Эти три леммы первого типа для доказательства требуют построения гипербол.

Оставшиеся три леммы, попадающие во вторую категорию, посвящены проведению прямой из точки на одном из катетов прямоугольного треугольника к гипотенузе этого треугольника таким образом, чтобы сама линия или ее частичный отрезок состояли в определенном отношении. Эти три леммы формируют реальную сущность метода Альхазена, поскольку их применение к частным случаям отражения от выпуклых или вогнутых сферических зеркал позволяет автоматически находить точку или точки отражений. Остальное фактически содержит доказательства того, что точка или точки, найденные такими построениями, действительно являются легитимными точками отражения. И эти доказательства Альхазена также следуют определенной схеме, поскольку все они основаны на рассмотрении фигур, образованных линиями $D'Q'N'M'$, $D'G'T'$, $B'N'T'$ и $B'Q'G'$ (см. рис. 17.8). Все результирующие демонстрации следуют из подобия треугольников SDP и BGP или AGP . Поскольку на первый взгляд они кажутся сложными и как бы вывернутыми наизнанку, это иногда запутывает последовательность рассуждений автора, хотя его доказательства на концептуальном уровне просты и логичны. Именно в концептуальной простоте Смит увидел «элегантность, лежащую в основе решения Альхазена. И эта элегантность полностью проявлена через находчивость и оригинальность его метода». С таким утверждением трудно не согласиться, особенно после анализа геометрических конструкций, используемых Альхазеном при построении гиперболических сечений в леммах 1, 3 и 5.

Метод Гюйгенса для решения задачи Альхазена. Следует признать, что финального обобщения для поставленной задачи Альхазен не достиг, остановившись на полном наборе частных решений для вогнутого зеркала. Чтобы оценить то, какую часть пути прошел отец оптики, а какую — его последователи, приведем для сравнения решение этой же задачи Христианом Гюйгенсом через пять веков после Альхазена в наиболее сложном варианте вогнутого зеркала.

Метод Гюйгенса также основан на нахождении гиперболы, каждая ветвь которой пересекает окружность зеркала в двух точках, определяемых как точки отражения. Эту базовую конструкцию можно адаптировать к модели, которая использовалась Альхазеном при анализе отражения в вогнутом зеркале. Как заметил Абдельхамид Сабра еще примерно четверть века назад, в такой постановке решение Альхазеновой проблемы Гюйгенсом оказывается очень близким к решению первой леммы самим Альхазеном [320].

Формулировка Гюйгенса. *Дано вогнутое или выпуклое (сферическое) зеркало и даны глаз и точка видимого объекта. Нужно найти точку отражения.*

Пусть окружность с центром в точке G , отмеченная жирной линией на рисунке 17.11, представляет больший круг вогнутого сферического зеркала. Пусть точка излучения B и центр зрения A локализованы на диаметрах KH и FL соответственно так же, как и в предыдущих утверждениях, посвященных отражениям от вогнутого зеркала. Проведем окружность через точки A , B и

тысячелетию со дня рождения Альхазена. Построение содержит приближенную методику нахождения блестящей точки A при отражении луча света, испущенного из точки B в сторону наблюдателя C . Через две последние точки проведена вспомогательная окружность, центр которой лежит на прямой BD . Из центра выпуклого зеркала D к этой окружности проведена касательная, и точка соприкосновения E соединена с положением источника света B . Утверждается, что эта линия и есть падающий луч. Его пересечение с поверхностью зеркала должно приблизительно определить искомую точку A , а отрезок между A и C — отраженный луч. Ясно, что такое построение не является универсальным.

Альхазен предложил несколько вариантов таких частных решений.

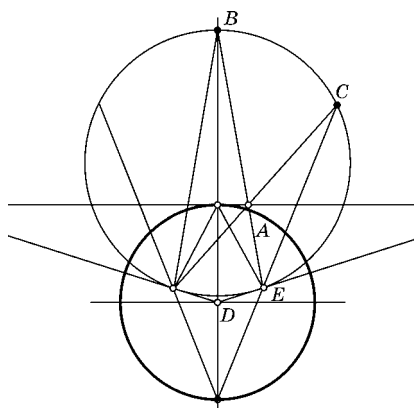


Рис. 17.12

17.3. ГЕОМЕТРИЯ ОТРАЖЕНИЙ. О ФОРМИРОВАНИИ ОТРАЖЕННЫХ ОБРАЗОВ

Вопрос о *зеркальных претерпеваниях* был в античной и средневековой оптике вторым по важности после проблемы механизма зрения. Особенности изображений в зеркалах различных типов занимали мусульманских мыслителей и западных схоластов не меньше, чем изучение прямого видения. К этому добавлялся и ряд частных, но важных для того времени задач: выбор оптимальной формы зажигательного зеркала, нахождение блестящих точек на поверхности зеркал и т. п. Разделы о зеркалах следуют во всех средневековых манускриптах по оптике сразу за описанием строения и функций глаза.

Ниже приведены хрестоматийные материалы, иллюстрирующие, насколько далеко продвинулась в математическом обосновании катоптрика рассматриваемого периода.

Иоанн Пеккам. «Общая перспектива», книга II, разделы 6, 20, 30. Для начала приведем формулировку закона отражения: «Углы падения и отражения равны, и падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром в точке падения» [251].

Определение углов падения и отражения еще не устоялось. Пеккам даже приводит обе альтернативные возможности их обозначения: «Угол, формируемый падающим лучом (с одной стороны) и поверхностью зеркала или воображаемой линией, перпендикулярной ей в точке падения (с другой стороны), называется углом падения. Угол, сформированный ими (плоскостью зеркала или воображаемым перпендикуляром) и отраженным лучом, называется углом отражения». Доказательствами в стиле Герона автор себя не затрудняет, но приводит некоторые рассуждения со ссылками на авторитеты: «Равенство этих углов приобретается опытом и доказывается рассуждениями

нескольких сортов. Если бы падающий луч мог проникнуть в глубь зеркала, он сформировал бы с перпендикуляром в точке отражения угол, равный углу падения, потому что в соответствии с Евклидом вертикальные углы равны („Элементы“, I, 15). Следовательно, луч отскочит в той же самой моде, в которой он мог бы быть передан (если бы не отклонился отражающей поверхностью), и соответственно он должен отлететь под тем же углом, что и угол падения».

Пеккам указывает, что равенство углов может быть подтверждено опытным путем, и аргументирует это принципом симметрии. Фактически он ссылается на наблюдение механического рикошета при упругом отражении под углом. Трудности таких экспериментов были описаны Альхазеном за 300 лет до написания «Общей перспективы».

Выделяя случай нормального падения, Пеккам прямо обращается к аналогии с падающими тяжелыми телами: «Если луч падает на зеркало перпендикулярно, то отражается назад; если отражается по касательной, то отражается также по касательной, но в другую сторону. То же очевидно для движущегося тела, если тяжелое тело падает вертикально на твердую поверхность или проектируется перпендикулярно вдоль линии, проведенной назад вдоль той же линии; если отбрасывается по касательной, то отскакивает вдоль подобной линии с другой стороны». Пеккам не подразумевает, что свет — это корпускулы. Механический пример использован только для обоснования математического равенства углов, а не для объяснения природы света. Из текста следует, что Пеккам не до конца порвал со зрительными лучами, исходящими из глаз. В доказательствах теорем и «рассуждениях по аналогии» присутствуют просто лучи, лучи света и лучи из глаз. Пеккам знаком со вторым законом отражения — о единой плоскости двух лучей и перпендикуляра: «Очевидно также, что все три линии лежат в одной плоскости, потому что луч приспособливается так близко, как возможно, к прямой линии, поскольку прямизна есть природа света». Далее следует витиеватая фраза, объясняющая, что происходит при рассеянии света на шероховатых поверхностях (диффузное отражение): «Однако если луч покидает ту плоскость, он должен дважды отклониться от прямолинейности — через отскок и через поворот». Нам представляется, что такие поверхности, а их в практике подавляющее большинство, рассматривались Пеккамом как совокупность мельчайших зеркал, хаотично повернутых в разные стороны.

Следующие рассуждения архиепископа Кентерберийского посвящаются нахождению мест локализации отраженных образов: «В плоских зеркалах и в большей части других изображения расположены на пересечении луча и катета».

Согласно средневековой терминологии *катет* есть линия, проведенная перпендикулярно от видимого объекта на поверхность зеркала, все равно, плоского или сферического. Перспективистам представлялось очевидным, что изображение в зеркале располагается на воображаемом пересечении луча, с помощью которого объект виден, и указанного перпендикуляра. Это объясняется их убежденностью в том, что длина лучей непосредственно воспринимается глазом. Поскольку отраженные части лучей действуют на зрение напрямую и зрение совмещает само себя с этой частью, то через посредниче-

ство отражения часть луча, падающего на зеркало, воспринимается так, что весь луч кажется глазу непрерывным вдоль прямой. Пеккам пишет: «Отражение не разглядеть глазом, который не воспринимает ничего, кроме части луча, которая актуально сопровождает качества видимого объекта к зрению. Следовательно, объект, видимый в зеркале, должен казаться расположенным в воображаемом пересечении луча и катета». Суть аргументации Пеккама в том, что глаз распознает длину луча, с помощью которого мы видим объект, но он не сведущ в кривизне. Соответственно объект воспринимается расположенным вдоль обратного прямолинейного продолжения отраженного луча на пересечении с катетом. Это поясняется равенством длин отрезков KA и AE (рис.

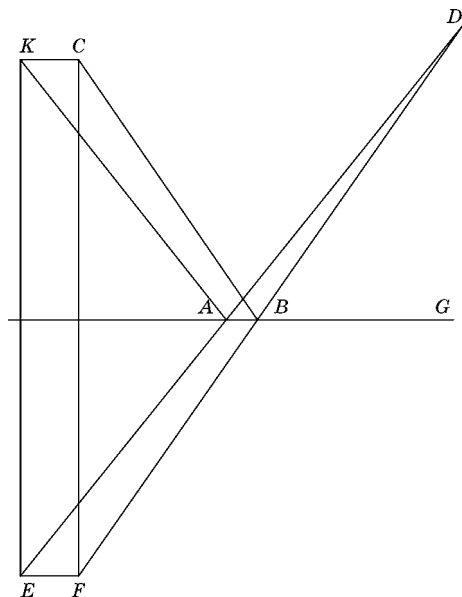


Рис. 17.13

17.13), которое соответствует способности глаза определять длину попадающих в него лучей. Это равенство сохраняется только для плоских зеркал. Пусть ABG — зеркало, KC — видимый объект и D — глаз наблюдателя. Лучи KA и CB падают от видимого объекта и отражаются к глазу вдоль лучей AD и BD . Соответственно луч KA представляется глазу отрезком AE — прямым продолжением AD , а CB — отрезком BF , прямым продолжением BD . Луч DA направлен в точку E , а луч DB — в точку F , чем объясняется, что объект представляется находящимся на катете. Для плоских зеркал рассуждения Пеккама справедливы, но когда он переходит к изображениям в вогнутых или выпуклых зеркалах, то, как и все прочие перспективисты, попадает в ту же методологическую ловушку, что и Клавдий Птолемей за тысячу лет до него: «В выпуклых сферических зеркалах изображение представляется находящимся на пересечении луча и катета, который есть линия, проведенная от объекта к центру сферы».

Чувствуя разницу в отражениях от зеркал различной формы, Пеккам пишет: «Это может быть доказано опытным путем и показано как результат естественных причин, так же как это только что было доказано для плоского зеркала. Тем не менее плоские зеркала и зеркала выпуклые сферические отличаются в том, что объект всегда представляется за зеркалом, в то время как он находится перед ним. А в вогнутых сферических зеркалах изображение представляется иногда на поверхности зеркала, иногда за зеркалом, иногда перед ним».

Считалось невозможным, чтобы изображение в выпуклом зеркале было где-либо, кроме области за зеркалом. В рамках своей модели Пеккам корректен в том, что в принципе зеркальные образы могут локализоваться внутри, снаружи или на поверхности зеркала, но он не прав, определяя места их локализации заданным пересечением. На рисунке 17.14 объект находится в

точке E , а глаз — в точке G . Пеккам доказывает, что образ объекта локализуется на пересечении катета ED и прямолинейного продолжения отраженного луча NG , т. е. в точке K , лежащей за зеркалом. Рассуждения более чем сомнительные, мы вернемся к ним при рассмотрении подобных вопросов в «Перспективе» Вителло.

Продолжая цитировать Пеккама, приведем его рассуждение о смещениях зеркальных образов при движении объекта: «Пусть E — видимая точка, G — глаз, N — точка отражения и D — центр сферы (рис. 17.14). Верно, что изображение локализуется в точке K . Однако если видимый объект смещается в точку B , образ представляется в точке O . Если объект будет расположен еще ближе к сфере, то изображение представится вне сферы, как это будет очевидно из исследований». То же самое может случиться, если луч падает под большим углом (рис. 17.15).

Относительно поиска точек блеска на зеркале Пеккам высказывается кратко, ссылаясь на Альхазена: «Точка отражения легко находится в таком зеркале, когда глаз и объект находятся на равных расстояниях от сферы. В другом случае путь (или требуемое время) для нахождения точки много больше».

В конце данного раздела «Общей перспективы» Пеккама приводятся рассуждения о том, что изображение в выпуклом зеркале всегда ближе к зеркалу, чем сам объект, и это соотношение контрастирует с ситуацией плоского зеркала. О вогнутых зеркалах архиепископ Кентерберийский предпочитает лишний раз не упоминать ввиду математической сложности их описания, а возможно, и с точки зрения метафизической: переворачивания изображений и зажигательные свойства таких зеркал напоминали козни лукавого. Более смелым в этом вопросе оказался польский каноник Вителло, который,

работая в Ватикане, постарался разобраться, в чем же кроется секрет вогнутых зеркал.

Вителло. «Перспектива», книга VIII, теорема 53. *Когда линии падения (проведенные от конечных точек какого-либо объекта) пересекают сами себя в вогнутом сферическом зеркале, наклонные длины располагаются за точ-*

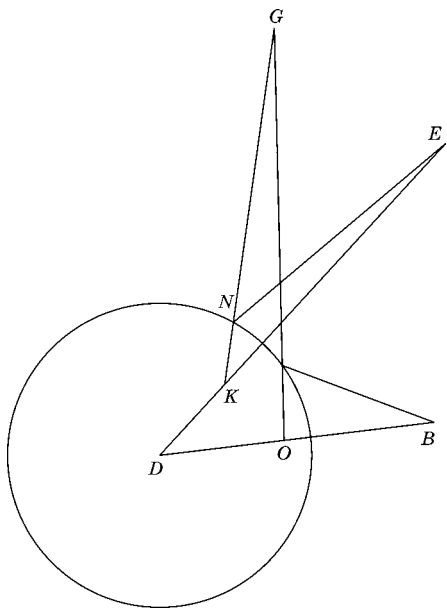


Рис. 17.14

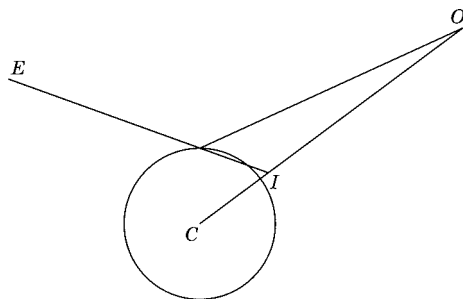


Рис. 17.15

ками пересечения, представляясь прямыми. Но те предметы, которые располагаются вне пересечения линий, представляются перевернутыми [284].

Эта область лежит между точкой пересечения I (рис. 17.16) и зеркалом. Множество точек, таких как I , для всех позиций объекта и глаза составляют фокальную плоскость зеркала, и если Вителло не использовал современную терминологию в описании этой плоскости, то он прав в утверждении, что объект, расположенный снаружи, представляется перевернутым, тогда как объект внутри зеркала кажется прямым. Это утверждение иллюстрирует прогресс в геометрической оптике XIII в.

Дано вогнутое зеркало AG с центром в точке M , B — центр глаза, DE — линейный объект, расположенный касательно к поверхности зеркала (рис. 17.16). Пусть лучи DA и EG отражаются к глазу B в соответствующих точках. Лучи DA и EG пересекаются в точке I перед зеркалом. Теперь рассмотрим линию CK ; она видится глазу B с помощью тех же отраженных лучей AB и GB . Очевидно, что любая линия над точкой I («за фокусом») формирует перевернутый образ, а линии ниже — прямой. От точки D через центр зеркала Вителло проводит линию DM , которая перпендикулярна той же поверхности зеркала, поскольку проходит через его центр. Доказывается, что она пересекает линию AB в точке L . Подобным образом линия EM пересекает линию GB в точке N . Для Вителло очевидно, что изображение точки D локализовано в точке L , а образ точки E — в точке N .

Заметим, что DM есть катет, так как он проведен через видимую точку перпендикулярно поверхности зеркала, и AB — отраженный луч. Образ точки D должен находиться в пересечении этих двух линий. Тот же принцип используется для определения локализации образов точек E , C и K . Для этого Вителло проводит линию NL , которая будет изображением всей линии DE . Она явно перевернута по отношению к исходному объекту, поскольку точка N есть изображение нижней точки объекта E и лежит выше точки L , изображения высшей точки объекта. Линию MK Вителло продолжает до пересечения с линией BG . Это пересечение обязательно найдется благодаря тому, что линия BG наклонна, а линия MK перпендикулярна к поверхности зеркала. Пусть точка пересечения будет F . Далее Вителло продлевает линию MC до пересечения с линией BA в точке S , соединяет эти точки линией FS , которая и будет изображением линии CK . Из рисунка видно, что изображение FS прямое (не перевернутое) и занимает позицию, согласованную,

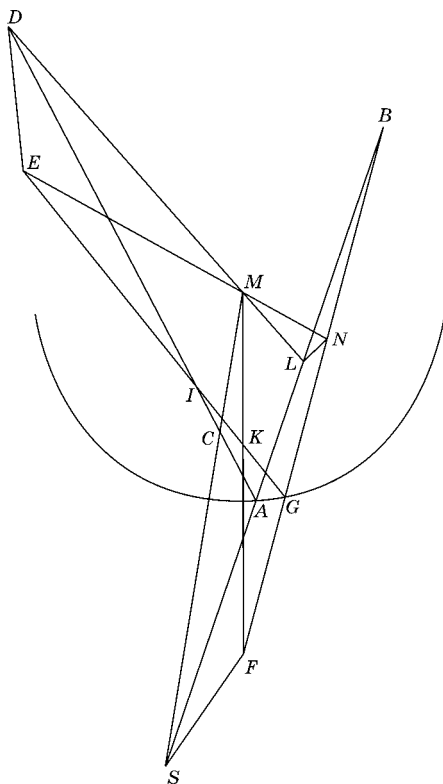


Рис. 17.16

сообразную видимому объекту $СК$, расположенному между точкой I и поверхностью зеркала.

Оба приведенных выше отрывка посвящены геометрическим доказательствам более, нежели физическим. Для средневековой оптики это важный, но второстепенный вопрос: математическое обоснование видимостей должно подчиняться первичному поиску причин наблюдаемого. Отсюда неизменный интерес и мусульманских и христианских оптиков того времени к причинному анализу отражений.

17.4. ПРИЧИННЫЙ АНАЛИЗ ОТРАЖЕНИЙ

Альхазен. «Сокровище оптики», книга IV, раздел 18. Начиная с Альхазена и заканчивая Вителло, средневековая катоптрика определялась в аналогиях с динамикой броска и удара. Причина, по которой свет отражается вдоль линии, имеющей тот же наклон, что и линия, вдоль которой свет достигает зеркала, искалась так. Свет движется «очень быстро», и когда он падает на зеркало, ему не позволено проникать внутрь. Поскольку «первоначальная сила и природа движения по-прежнему остаются», свет отражается в направлении, от которого он пришел, вдоль линии, имеющей тот же наклон, что и первоначальный луч. Альхазен напоминает про «возможность тяжелому сферическому телу опускаться перпендикулярно на гладкое тело с некоторой высоты, и при этом отражение происходит вдоль того же перпендикуляра, вдоль которого оно падало». Самопроизвольное падение тела вниз было примером его *устремления*, внутренней потребности. Для сближения с оптикой Альхазен должен был выбрать пример акцидентного движения, происходящего под действием некоторой силы, вынужденно. Это требовалось для того, чтобы следовать учению Аристотеля об акцидентности света, которое было интегрировано в арабскую философию и христианскую метафизику света.

Альтернативную гипотезу (свет — это субстанция) выдвигали греческие атомисты и некоторые из эпикурейцев.

Для иллюстрации акцидентного поведения отраженного света Альхазен выбирает мысленный эксперимент, реальное проведение которого сомнительно. Речь идет об образе стрелы со сферическим наконечником, направляемой на зеркало под различными углами: «Зеркало на высоте человека надежно прикрепляется к стене. На острие стрелы фиксируется сфера, и стрела горизонтально выстреливается луком в зеркало так, чтобы стрела и зеркало были одинаково расположены по высоте. Если стрела достигает зеркала по перпендикуляру, то и отражается от него по перпендикуляру. Но если движение стрелы происходит наклонно к зеркалу, то стрела отразится не вдоль линии падения, а под тем же углом наклонно к зеркалу и перпендикуляру. Определенное опытным путем отражение света от полированного тела тем больше, чем сильнее отталкивание».

Несмотря на то что при обсуждении отражения Альхазен использует механическую терминологию, эта аналогия глубже и показательнее. Во-первых, имеется вынуждающая сила лука, а во-вторых, образ стрелы по сравнению с «тяжелым сферическим телом» более подходит для описания зрительных

и световых лучей. Стрела может иметь почти прямую траекторию, у нее есть направление и она бьет в цель, вызывая острое физическое воздействие. С тех пор стрела стала неизменным оптическим атрибутом, который до сих пор используется в иллюстрациях. Все это не означает, что Альхазен считал свет потоком корпускул. Как и его западные последователи, он мыслил свет как силу или форму, распространяющуюся через прозрачную материальную среду.

Причину, по которой механический удар и отражения света одинаковы, Альхазен видит в следующем. Когда тяжелое тело падает по перпендикулярно, «оппозиция полированного тела и падение тяжелого тела противоположны»: нет движения, кроме перпендикулярного, и противодействие происходит по перпендикулярно. Но когда тело падает по наклонной линии, линия падения проходит между перпендикулярно к поверхности полированного тела и линией на этой поверхности, ортогональной этому перпендикулярно. И если бы движение проникало за точку падения, «ища свободный проход», то и эта линия была бы между перпендикулярно, проходящим через тело, и линией на поверхности, ортогональной этому перпендикулярно. Альхазен подчеркивает такое же измерение позиции отраженного луча «по отношению к перпендикулярно, как и по отношению к линии, лежащей в плоскости зеркала и ортогональной этому перпендикулярно». Последнее означает, что Альхазен разделяет движение наклонного луча на компоненты, перпендикулярные и параллельные поверхности зеркала. Поскольку отражение происходит вдоль перпендикулярно, потому что «тело не может отражать движение, согласованное с мерой, которую оно имеет, вдоль перпендикулярно, проходящего сквозь полированное тело, то и ослабленный луч отбрасывается в соответствии с мерой его движения вдоль перпендикулярно» (проекцией на нормаль).

Кажется справедливым, что Альхазен рассматривает перпендикулярную и параллельную компоненты движения как сохраняющиеся при отражении. Этот вывод следует из утверждения, что после отражения света «первоначальная сила и природа движения» сохраняются. Знание того, что углы падения и отражения одинаковы, предполагает, что перпендикулярная и параллельная компоненты отраженного луча обладают той же «первоначальной силой и природой движения», которой характеризовался падающий луч. Таким образом, Альхазен анализирует отражение света, опережая Рене Декарта, который в XVII в., через 700 лет после отца оптики, приводит при анализе причин отражения те же рассуждения.

Несмотря на тяжеловесность формулировок Альхазена, понять его можно: он доказывает равенство модулей проекций падающего и отраженного лучей. «Когда возвращение движения имеет ту же меру в расположении вдоль ортогонали, которая и раньше была вдоль ортогонали с другой стороны точки отражения, то она будет иметь ту же меру расположения вдоль перпендикулярно, проходящего через тело, как и ранее». В связи с формулируемыми им «законами сохранения» Альхазен должен объяснить, почему тяжелые тела не отскакивают на те же высоты, с которых упали. Он пишет: «В случае отдачи тяжелого тела, когда движение отскока прекращается, тело опускается по причине того, что его природа и склонность стремятся к центру мира. Однако свет, имеющий ту же природу отражения, что и тяжелое тело, не

имеет склонности к поднятию или падению. Следовательно, в отражении он движется вдоль первоначальных линий до тех пор, пока не встретит преграду, прекращающую его движение. И это и есть причина отражения». Весьма хитроумное замечание. Отметим, что здесь Альхазен в который раз замечает, что поведение тяжелых тел может объяснить отражение света, но это не значит, что сам по себе свет есть тяжелое тело.

Роджер Бэкон. «Об умножении образов», книга III, глава 1. Особенность подхода Бэкона к поиску причин отражения, при его почти полном следовании методологии Альхазена, заключается в неприятии механических аналогий. Он покушается даже на аристотелевский принцип поиска внешней силы для акцидентного отражения: «Если кто-нибудь говорит об отражении образов от тела, то это очевидно из того, что должно говорить об этом: это происходит не насильственно, но когда запрещено проходить сквозь тело из-за противоположной плотности его».

Зеркала, по Бэкону, обладают как бы отрицательной прозрачностью и в силу этого, а не из-за механических причин отражают свет. Он прямо указывает, что использование механических аналогий равносильно признанию света (или переносимых им зрительных цветоформ) потоком корпускул: «И если формы могут двигаться назад от зеркала подобно отскоку мяча от стены, то будет необходимо для них быть вещественными телами». В этом точка зрения Бэкона, при всей ее схоластической форме, выглядит современной. При отражении, говорит он, «образы порождают сами себя в направлении, для них открытом».

В процитированном коротком отрывке Бэкон формулирует свою позицию и потом будет использовать ее многократно. Он подчеркивает, что свет не корпускулярен и что отражение не есть механический отскок. Отражение по Бэкону может быть описано, скорее, как саморассеивающееся свойство образов. Это, с одной стороны, связано с его теорией *умножения образов*, в основе которой лежат представления о всестороннем расширении сфер, по радиусам которых распространяются зримые цветоформы. С другой стороны, это указывает на разницу между обычными поверхностями освещенных предметов, рассеивающих свет во все стороны, и зеркальными телами, для которых существует одно *открытое* для отраженных образов направление, обладающее свойством симметрии по отношению к падающему свету.

Причинный анализ отражений в средневековом понимании включал в себя еще один аспект, известный со времен Герона Александрийского. Речь идет о принципе минимальной длины тех лучей (у Герона — зрительных), которые отражаются от зеркала под равными углами. Поскольку идея минимальности природных усилий (минимального времени, кратчайшего пути, самых малых затрат энергии и т. п.) постулировалась как естественное свойство окружающего мира, то сам закон отражения зачастую трактовался как следствие этого принципа. В связи с этим есть смысл проанализировать теорию из пятой книги «Перспективы» Вителло.

Вителло. «Перспектива», книга V, теорема 18. *Все, что видится благодаря любым зеркалам и воспринимается произвольно расположенным глазом, видится по кратчайшим линиям.*

Пусть дано зеркало, на поверхности которого имеется прямая или изогнутая линия ACB , и пусть D есть позиция видимого объекта, а F — центр глаза (рис. 17.17). Точка D видится благодаря отражению в точке C зеркала. Утверждается, что сумма линий FC и DC короче суммы линий, проведенных из точек D и F к любой другой точке зеркала. Пусть линии DE и FE проведены к другой точке на поверхности зеркала (E). Эти линии не могут быть короче или равными линиям DC и FC , они определено длиннее. Далее следует ключевая фраза «Природа всегда действует по кратчайшим линиям» со ссылкой на теорему 5 той же книги. Здесь Вителло упоминает о бэконовской теории умножения образов: «И умножение форм на поверхности зеркал естественно, поэтому, как и все другие распространения форм, имеет место благодаря природному действию, как мы показали в своей „Натурфилософии“⁷ в главе о природных действиях».

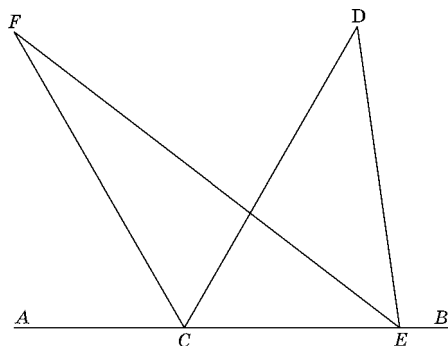


Рис. 17.17

Раз минимальны по длине те лучи, которые отражаются под равными углами, то и само отражение света оказывается частным случаем этого общего принципа и не нуждается в механических аналогиях. Вителло продолжает: «Подобным образом отражение форм от поверхностей зеркал к глазу полностью естественно, потому как и все прочие зрительные восприятия имеют место действием природы и завершаются действием души». Следовательно, само прямолинейное распространение света, радиальное рассеяние и умножение цветоформ (диффузия), зеркальное отражение и постижение форм в глазу «имеют место сами по себе и действительно натуральны». Все вышеперечисленное происходит вдоль кратчайших линий, как и предполагалось общим принципом.

Вителло использует принцип минимального действия или минимальной дистанции для описания закона отражения и очевидный рисунок из главы 4 работы «О зеркалах» Герона Александрийского, переведенной на латынь Виллемом из Мёрбеке по просьбе Вителло. Перевод был закончен 31 декабря 1269 г., что указано в конце рукописи этого труда, сохранившейся в Ватиканской библиотеке (Vat. Ottob. Lat. MS 1850, fol. 61v).

Демонстрация того, что линии, формирующие равные углы с отражающей поверхностью, удовлетворяют принципу минимальной дистанции, приведена Вителло дважды: в первой книге «Перспективы» (теорема 17) и в ее пятой книге (теорема 19) [377], [379].

17.5. ПАРАБОЛИЧЕСКИЕ ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ ЗЕРКАЛА

Альхазен. «О зажигательных зеркалах». Эта короткая работа Альхазена была переведена на латынь, возможно, Герардом Кремонским или кем-то из его школы. Текст был известен во второй половине XIII в. и стал популярен в позднем Средневековье [215], [374]. Во введении Альхазен отмечает

⁷ «Philosophia naturalis», эта работа Вителло утеряна.

интерес к этой теме античных авторов: «Одна из наиболее удивительных вещей, открытых геометрами, на которой сконцентрировались античные мудрецы, и в которой проявились прекрасные свойства геометрических фигур, и которая следовала из натуральных вещей, — это конструкция зеркал, производящих возгорание за счет отраженных солнечных лучей». Он не называет мудрецов по именам, за исключением Архимеда и Анфимия. Но известно, что вопрос о зажигательных зеркалах волновал Евклида, Герона и Птолемея. Наиболее строгую математическую работу, посвященную выбору параболической формы для зажигательного зеркала, написал в период поздней Античности Диокл, основываясь на «Конических сечениях» Аполлония Пергского [76].

В первом постулате Альхазен отмечает, что зажигательного эффекта не добиться, используя плоское зеркало: «Изобретая такие зеркала, мудрецы использовали различные средства. Так, они открыли, что лучи, отраженные от поверхности плоского зеркала, и места, в которые отражаются эти лучи, варьируют по форме и размеру в зависимости от различных размеров зеркал. Однако им стало ясно, что луч, проведенный из данной точки объекта и отраженный от плоского зеркала, отражается к одной точке только от одной же точки поверхности зеркала, и потому луч, отраженный от зеркала, отражается к одной точке окружности только одного круга, лежащего в этой сфере». Альхазен имеет в виду, что параллельные лучи после отражения от плоского зеркала остаются параллельными и не концентрируются. Круг, о котором говорит отец оптики, — это изображение солнечного диска. Сфера, о которой идет речь в этом отрывке, есть сферическая поверхность с основанием на зеркале, вдоль радиусов которой, по средневековой терминологии, *умножаются* зрительные образы. Альхазен упоминает о попытках античных ученых соединить вместе лучи от нескольких плоских зеркал: «И потому некоторые из них старались использовать много плоских зеркал, соединенных вместе, от которых лучи будут отражены в одну точку так, чтобы возгорание было сильным. И те, кто открыл эти зеркала, были великими людьми — Архимед, Анфимий и другие».



Согласно европейской средневековой традиции сожжение Архимедом римского флота в гавани сицилийского города Сиракузы рассматривалось как первый пример успешного создания зажигательного зеркала. Анфимий Тралльский, византийский архитектор, один из создателей Софийского собора в Константинополе, считался в этом деле учеником Архимеда, превосшедшим учителя. Такая схема, даже если она и не была полностью историчной, демонстрировала преемственность и превосходство христианской боговдохновенной мудрости над языческим мудрствованием [214].

Далее Альхазен переходит к выбору античными учеными формы для «правильного» зажигательного зеркала: «Их стал занимать вопрос о свойствах фигур, от которых лучи отражаются. Они открыли свойства конических сечений и обнаружили, что лучи, падающие на единую вогнутую поверхность параболоида, отражаются в одну и ту же точку. И становится очевидным, что возгорание, производимое таким зеркалом, сильнее зажигательного действия зеркал любой другой формы». Здесь упомянута та форма, которую

математически обосновал Диокл в работе «О зажигательных зеркалах» и которая соответствует оптимальной фокусировке параллельного пучка солнечных лучей в точку. Наименование этой точки (фокус) появится только в XVII в. в работах Иоганна Кеплера.

Альхазен нигде не ссылается на Диокла, поэтому трудно сказать, насколько он был знаком с его трактатом. Можно предположить, что арабский ученый самостоятельно провел геометрические выкладки, учитывая его дальнейшее утверждение, что открытие этой формы не было обосновано античными мудрецами. Он пишет: «Они не представили ни адекватную демонстрацию этого факта, ни метод, которым они открыли этот факт. Поскольку в этом предмете заключается великая польза и большая употребимость, я должен аккуратно объяснить это и открыть это так, чтобы тот, кто желает знать правду, получил бы знание об этом, и тот, кто заинтересовался бы применением этих вещей, понял бы их». Далее следует ряд утверждений, согласованных с вышеприведенным текстом:

«Солнечный луч, испущенный на поверхности зеркал всех сортов, падает на них вдоль прямых линий».

«Все лучи падают на плоские зеркала и отражаются их поверхностями под равными углами».

«Все лучи, падающие на вогнутые или выпуклые зеркала, отражаются от поверхностей под равными углами, формируя с плоскими поверхностями касательные к этим поверхностям равные углы в точках падения».

Последнее положение Альхазен считает нужным разъяснить: «Я имею в виду, что отраженные лучи формируют два равных угла с прямой линией, которая есть общая разность между поверхностью двух прямых линий и плоской поверхностью». Здесь под прямой линией подразумевается касательная, лежащая в плоскости падения, а под плоской поверхностью — собственно поверхность зеркала для плоского отражателя или касательная плоскость для выпуклого или вогнутого зеркала. Альхазен подчеркивает, что лучи и геометрические линии, служащие для их математического представления, следуют идентичными путями. Сами лучи, по античным и средневековым представлениям, имеют собственную конечную ширину и этим отличаются от геометрических линий. Утверждение Альхазена позволяет считать физические лучи (световые и зрительные) движущимися вдоль геометрических линий.

После этих замечаний Альхазен приступает к анализу вогнутого зеркала параболической формы: «Рассмотрим сечение параболы, ось которой проведена и для которой расстояние в одну четверть от *latus rectum*⁸ отмечено от конца оси». По определению параболы, выраженному в декартовой нотации, $y^2 = Lx$, где L и есть упомянутая длина *latus rectum*. В этом прослеживается влияние Аполлония и его ученика Диокла, который доказал, что солнечные лучи, направленные вдоль оси параболического отражателя, собираются в точке, отстоящей от вершины зеркала на расстояние, равное $L/4$ [76].

⁸ *Latus rectum* (*лат.* прямая сторона) — это параметр главной оси, отрезок, проходящий через центр сечения конуса, параллельный директрисе и ограниченный вершиной самой кривой. В настоящее время термин практически не используется.

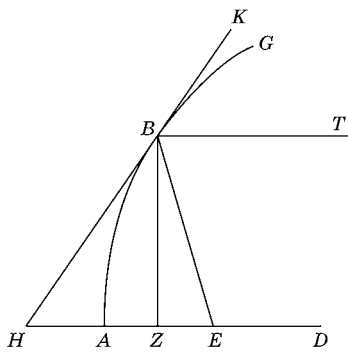


Рис. 17.18

угол BEH — острый. Тогда, по методу разложения на составные части, я предположу, что угол TBK равен углу EBH ». Последнее допущение нужно Альхазену для наглядной демонстрации. Следуя средневековой традиции, он начинает доказательство с метода разложения на составные части, в ходе которого выводит из исходных положений некоторые известные математические соотношения. Вторая часть построений ведется в обратной манере — методом синтеза, в котором из известных математических соотношений выводится то, что необходимо продемонстрировать, а именно равенство углов. «Линия TB параллельна линии DA , угол TBK будет равен углу BHE . Но угол TBK равен углу EBH по допущению, следовательно, угол EBH равен углу BHE . Следовательно, отрезок BE равен отрезку EH , соответственно квадрат величины BE равен квадрату величины EH . Теперь я провожу линию BZ перпендикулярно оси, теперь две возведенные в квадрат величины BZ и EZ суммируются, и сумма их равна квадрату EH . Но квадрат BZ равен произведению AZ и L , как показал великий Аполлоний в своей книге по сечениям конуса».

Далее следуют алгебраические преобразования: «Квадрат величины EZ , прибавленный к произведению AZ и L , равен квадрату EH . Но AE есть одна четверть от L , значит, учетверенное произведение AZ и AE равно произведению AZ и L . Соответственно учетверенное произведение AZ и AE , прибавленное к квадрату EZ , равно квадрату EH . Отсюда AH равно AZ ».

Здесь Альхазен опускает несколько промежуточных преобразований, но некоторое число шагов может быть пропущено, поскольку из уравнения $4 \cdot AZ \cdot AE + (EZ)^2 = (EH)^2$ действительно следует, что $AH = AZ$. Это так, потому что линия BH есть касательная и линия BZ перпендикулярна оси. Еще Аполлоний доказал, что для любой параболы $AH = AZ$, если BH касательная. Итак, анализ закончен, пора приступить к синтезу. «По методу композиции я предположу все, как раньше, и я говорю, что угол TBK равен углу EBH . Доказательство этого следует ниже. Я провожу линию BZ , как и раньше, перпендикулярно оси. Поскольку BH есть касательная к сечению параболы и BZ перпендикуляр, то AZ должна быть равна AH . Следовательно, учетверенное произведение AE и AZ , прибавленное к квадрату EZ , равно квадрату EH . Но AE есть одна четверть от L , соответственно учетверенное

«В любом таком сечении все линии, проведенные параллельно оси... отражаются в общей точке, которая отмечена четвертой частью, формируя два равных угла с линией, касательной к сечению в точке отражения. Например, пусть ABG есть сечение параболы, и AD — ее ось, и ее *latus rectum* есть L (рис. 17.18). На оси AD я откладываю отрезок AE в четверть длины L и провожу линию TB , параллельную AD . Я соединяю точки B и E и провожу касательную KBH . Я утверждаю, что угол TBK равен углу EBH . Пусть

произведение AE и AZ равно произведению L и AZ . Следовательно, произведение L и AZ , сложенное с квадратом EZ , равно квадрату EH . Но произведение L и AZ равно квадрату BZ , поскольку BZ — перпендикуляр к оси, то квадрат BZ , прибавленный к квадрату EZ , равен квадрату EH . Но два квадрата величин BZ и EZ , сложенные, равны квадрату BE . Таким образом, квадрат BE равен квадрату EH , и сам отрезок BE равен EH . Следовательно, углы EBH и BHE равны. И снова, TB параллельна DA , следовательно, углы TBK и BHE равны, и потому углы EBH и TBK равны. И подобным образом, все линии, проведенные параллельно оси, отражаются в точке E и формируют острые углы с AE . Подобные доказательства повторяются для прямого и тупого углов.

Очевидно, что Альхазен приходит к тому же выводу, что и Диокл: параллельные лучи собираются параболическим зеркалом в точке, отстоящей от вершины параболы на одну четверть *latus rectum*. Сделал ли отец оптики это самостоятельно или был знаком с античным текстом, но не упомянул об этом, обсуждается ниже.

В заключительной части трактата Альхазен обращается к конкретной схеме применения зажигательного зеркала выбранной формы. Он описывает действие любой вогнутой отражающей поверхности, имеющей ту же кривизну, что и параболоид, и расположенной напротив тела Солнца так, что ось ее направлена прямо в центр Солнца. Тогда лучи, испущенные Солнцем, все отражаются к точке на оси, отстоящей от вершины отражателя на одну четверть *latus rectum* того сечения, которое создает поверхность. Например, пусть вогнутая отражательная поверхность, имеющая ту же кривизну, что и параболоид, с полюсом в точке A , базируется на круге GEZ (рис. 17.19). Ее ось — AD , а точка H лежит на одной четверти *latus rectum* от вершины A . Альхазен располагает солнечный диск (круг T) так, что если продолжить ось AD прямой линией, то можно будет достичь точки T внутри тела Солнца.

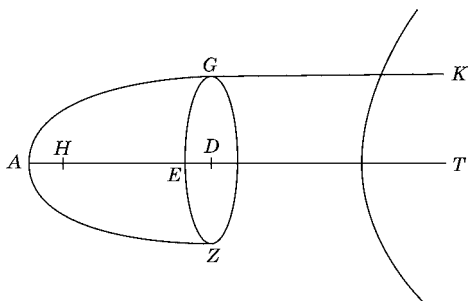


Рис. 17.19

Автор подчеркивает, что в этом случае лучи, испущенные от полного тела Солнца ко всей этой поверхности, отражаются к точке H , и считает необходимым пояснить это: «Поскольку лучи, испущенные солнечным диском к отражающей поверхности, распространяются по прямым линиям, то луч от точки T направляется вдоль линии AT . Однако я выберу случайную точку на круге основания отражателя и назову ее G . И я представляю линию, проведенную от точки G параллельно оси AT , например GK . Следовательно, линия GK , будучи продолженной прямолинейно, достигнет тела Солнца и будет отделена от оси AT на малое расстояние, несущественное по сравнению с размером солнечного диска. Соответственно эти линии всегда будут исходить из точек вблизи T . Но точка T внутри солнечного диска, следовательно, они исходят из Солнца, например из точки K . Таким образом, луч, распространяясь от точки K к точке G , проходит путь вдоль линии KG ».

Здесь Альхазен отходит от обсуждения геометрических линий и переходит к физическим лучам, распространяющимся вдоль этих линий, в соответствии с тем различием, которое он сделал в преамбуле к трактату: «Подобным образом для любой линии, проведенной от точки на отражающей поверхности параллельно оси и достигающей солнечного диска, луч, испущенный из такой точки [Солнца] к точке на отражающей поверхности, распространяется вдоль такой линии. Но, как было показано, такие лучи, идущие от тела Солнца ко всей поверхности отражающего тела, идут вдоль линий, параллельных оси. Следовательно, я подчеркиваю, что все они отражаются к одной точке».

В связи с приведенным отрывком следует заметить, что отличие лучей с конечной шириной от математических абстракций в виде прямых линий в данном случае позволяет Альхазену обойти вопрос об угловом размере солнечного диска и, как результат этого, конечный размер того пятна в фокусе параболы, в которое реально собираются солнечные лучи. Пучок солнечных лучей хотя и близок к параллельному, но все же имеет малую угловую апертуру. Фактически его фокусировка происходит не в математическую точку H , а в площадь круга, линейный размер которого определяется углом, под которым мы видим Солнце (от $28'$ до $32'$), и параметрами отражателя. Похоже, Альхазен чувствовал эту разницу, поэтому и пытался оперировать лучами конечной ширины.

Далее следуют рассуждения о месте концентрации солнечных лучей, куда Альхазен и рекомендует помещать поджигаемый материал: «И поскольку поверхность *AGEZ* имеет кривизну, подобную кривизне параболоида, то все лучи, параллельные оси встречаемой поверхности, отражаются к точке H ». Важно подчеркнуть, что преимуществом параболы в сравнении со сферой Альхазен справедливо считает согласованную концентрацию лучей всей поверхностью параболоида, в отличие от малоэффективного сферического отражателя, фокусирующего лучи только своей центральной частью. Решив задачу для отдельных отрезков параболы и рассмотрев ее поворот вокруг оси для формирования параболоида вращения, он говорит о согласованном действии всей отражающей поверхности: «И лучи, распространяющиеся вдоль прямых линий, проведенных к отражающей поверхности, отражаются под равными углами с линиями, лежащими в тех же плоскостях, что отраженные линии и касательные к отражающим поверхностям. Следовательно, лучи, распространяющиеся таким образом ко всей вогнутой поверхности вдоль линий, параллельных оси, отражаются вдоль этих линий и достигают этой точки... И эти лучи, достигая поверхности, имеющей ту же вогнутость, что и параболоид, все отражаются к точке H . И это есть точка, отстоящая от полюса (вершины) поверхности на одну четвертую часть *latus rectum*. И это именно то, что я хотел продемонстрировать».

На этом заканчиваются собственно оптические рассуждения Альхазена. Вся оставшаяся часть его трактата посвящена методам изготовления параболических зеркал, их полировки и придания необходимой формы и качества их поверхности.

Теперь вернемся к вопросу о знакомстве Альхазена с трактатом Диокла. Полезно провести сравнение трактата Диокла и манускрипта Альхазена,

посвященных зажигательным зеркалам, с целью выяснения степени их преемственности.

Работа Диокла, датируемая III в. до н. э., была написана после соответствующих трудов Евклида, Герона и Аполлония. В ней доказаны четыре теоремы, из которых первая относится к общим принципам отражения от вогнутой поверхности, а во второй доказывается, что ни центр кривизны, ни точка на половине радиуса окружности зеркала не являются местами концентрации всех лучей, попадающих на вогнутый сферический отражатель. Об этом смутно упоминал Евклид, но Диокл первым доказал то, что впоследствии получило научное определение как «отсутствие единого фокуса у глубокого сферического отражателя». Третья теорема Диокла имеет самостоятельное значение: в ней он впервые определил ту часть сферического зеркала, которая еще может фокусировать солнечные лучи в приосевую область. Отметив бесполезность всей периферийной части такого зеркала, Диокл рекомендовал использовать в зажигательных целях сферические отражатели с угловой апертурой не более 60° , т. е. с полным телесным углом не более одногостерадиана. Оценки Диокла оказались близки к точному расчету сферической аберрации. Фактически он ввел понятие параксиальной (приосевой) области, в которой тригонометрические функции малых углов лучей с осью линейны и позволяют использовать соответствующие приближения.

Более всего интересна четвертая теорема Диокла, в которой говорится о параболическом отражателе. Есть основание считать [76], что наиболее удачная форма зажигательного зеркала в виде параболы была известна Диоклу заранее, еще до начала работы над трактатом. Этому нет текстуального подтверждения, но его современник Аполлоний Пергский, написавший книгу о конических сечениях, установил концентрирующие оптические свойства эллипса и гиперболы. В трудах по катоптрике указывалось, что эллиптические отражатели позволяли собирать все лучи, вышедшие из одного фокуса эллипса, в другую его фокальную точку, а о свойствах прозрачных тел с поверхностями гиперболической формы сообщалось в трудах по диоптрике. В четвертой теореме Диокла (рис. 17.20) рассматривается парабола KBM , заданная отрезком VH , названным «половиной параметра по ординате». Этот отрезок откладывается на оси параболы от вершины и делится пополам. Полученная точка D оказывается на четверти «параметра по ординате», который и есть уже упомянутый *latus rectum*.

Математическое доказательство Диокла отличается от рассуждений Альхазена. Оно основывается на свойстве касательной к параболе, которая, пересекая ось последней, отсекает отрезок до оси, равный

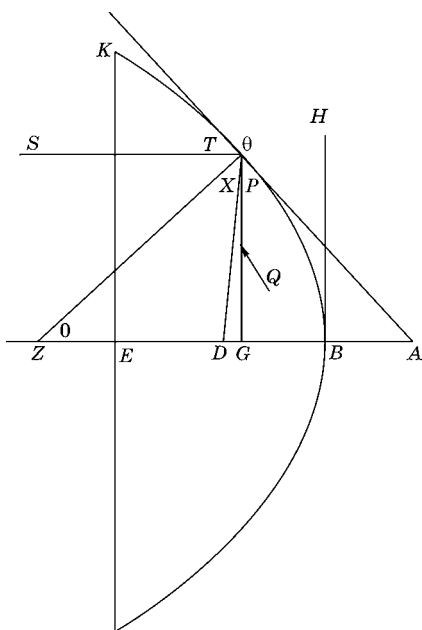


Рис. 17.20

длине перпендикуляра, опущенного из точки касания на ось. Геометрические построения Диокла заключаются в формировании прямоугольных треугольников, вписывании их в окружности и сравнении образуемых углов и радиусов. В них нет ни алгебраических выкладок, ни квадратных уравнений, которые являются ключевыми для приведенного выше текста Альхазена. В то же время кажется показательным, что Альхазен, во-первых, несколько раз ссылается на Аполлония, но не упоминает Диокла, а во-вторых, не задается вопросом о сферическом отражателе, а сразу обращается к параболе. При этом он рассуждает о плоском зеркале, даже о нескольких плоских зеркалах, но о вогнутом сферическом зеркале ничего не пишет.

Все это не позволяет ответить на вопрос, был ли Альхазен знаком с работой Диокла. По нашему мнению, сведения о выводах (но не о геометрических построениях) Диокла у него были. Но это несколько не умаляет заслуг отца оптики в обосновании формы зажигательного зеркала. В конечном счете именно из работы Альхазена, а не из трактата Диокла латинский мир узнал об оптимальной форме отражателя в виде параболоида. Все средневековые перспективисты не только изучали, но и использовали этот труд Альхазена никак не реже, чем его главный трактат «Сокровище оптики».

В частности, Вителло прямо ссылался на Альхазена в той части «Перспективы», которая посвящена зажигательным зеркалам.

Вителло. «Перспектива», книга IX, теорема 43. *Когда вогнутое зеркало той же вогнутости, что часть параболы, расположено напротив Солнца так, что его ось направлена прямо на солнечный диск, все лучи, параллельные оси и падающие на зеркало, отражаются в одной осевой точке, отстоящей от вершины зеркала на расстояние, равное одной четвертой лatus rectum части параболы, породившей поверхность зеркала. Это очевидно из того, что возможно поджечь пламя с помощью поверхности таких зеркал.*

Вителло рассматривает зеркало в форме части параболы (рис. 17.21). Его вершина расположена в точке A , круглое основание обозначено как QEZ , а его ось — AD . Расстояние от точки H по оси до вершины зеркала равно одной четвертой отрезка QZ , как раз являющегося лatus rectum части параболы AGQ , которая породила поверхность вогнутого зеркала путем ее вращения вокруг оси AD . Вителло располагает

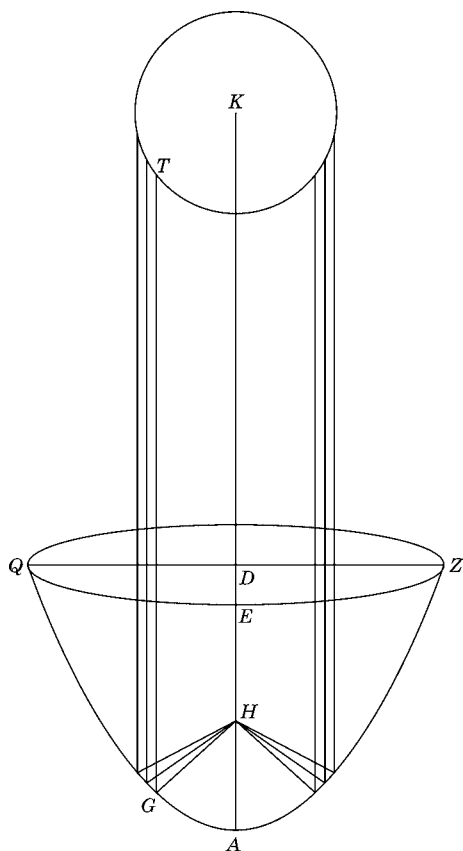


Рис. 17.21

зеркало напротив Солнца так, что ось направлена на его центр K . Если продолжить ось AD , то она достигает точки K в центре Солнца. Вителло утверждает, что все солнечные лучи, параллельные лучу KA , падают на поверхность предложенного зеркала и отражаются в точке H оси зеркала AD .

Ссылаясь на теорему 2 первой книги своей «Перспективы», Вителло пишет, что все лучи, распространяющиеся из любой точки тела Солнца к любой точке поверхности зеркала, идут вдоль прямых линий, параллельных KA . На периферии любой части параболического зеркала — пусть это будет $GAZQ$ — он отмечает точку G как случайную. И от точки G на зеркале к точке T на солнечном диске проводит линию GT , параллельную лучу AK . Затем из любой точки зеркала проводится прямая параллельно лучу AK до встречи с поверхностью тела Солнца. Далее следует характерная фраза Вителло, показывающая его понимание конечной угловой апертуры пучка солнечных лучей: «Отношение между поверхностью зеркала и поверхностью солнечного диска либо ноль, либо мало». Таким образом, Вителло доказывает, что все линии, которые могут быть проведены от поверхности зеркала параллельно его оси AD , достигнут солнечного тела. Точка T становится началом солнечного луча, падающего в точку G на поверхности зеркала. Вителло распространяет это «на все лучи, падающие в любую точку на всей поверхности зеркала, поскольку в соответствии с книгой I, аксиомой 31 „Элементов“ Евклида от каждой данной точки, ближней или дальней, мы знаем, как провести линию, параллельную данной, в нашем случае — оси AD по предположению».

Таким образом, Вителло доказывает, что все эти лучи отражаются от всей поверхности зеркала в одной точке на его оси, точке H . Поскольку все эти лучи — прямые линии, то из приведенных ранее утверждений очевидно, что они формируют равные углы с линиями, проведенными из всех точек падения к точке H . Следовательно, по теореме 20 первой книги трактата Вителло, все такие лучи отражаются вдоль линий, проходящих через точку H . Отсюда следует, что все лучи, падающие на периферию данной части параболоида и параллельные лучу, падающему вдоль оси этой части, отражаются в точке H на оси, отрезающей линейный сегмент AH , равный одной четвертой от *latus rectum*. Что, собственно, автор и старался доказать. Заметим, что замысловатая фразеология в этом месте служит для вуалирования его взглядов, посвященных поиску позиции искомой точки на одной четверти *latus rectum* от вершины зеркала.

Завершается эта часть трактата рассуждением в стиле Альхазена: «Поскольку каждое отражение от регулярно полированного тела имеет место в соответствии с равенством углов, формируемых между падающими и отраженными линиями и линией, касательной к поверхности зеркала в той точке, где и происходит отражение, и поскольку все эти линии пересекаются в точке H , то верно, что происходит схождение всех этих лучей в точке H . Следовательно, полная сила всех лучей, падающих на всю поверхность зеркала, соединяется в этой точке. И поскольку даже очень малый пучок света несет в себе часть активной силы Солнца, то очевидно, что в этой точке собирается полная мощность, а именно: вся сила лучей, параллельных оси AD , попадающих на поверхность зеркала. Становится очевидным, что если

горючий материал будет помещен в точку H , то пламя может возгореться. И это лучшая и сильнейшая из всех фигур для собирания солнечных лучей в одну точку, поскольку солнечные лучи собираются в одну точку всей поверхностью зеркала, каждой ее точкой. Таким образом, предположение доказано».

В отличие от нерешенной проблемы преемственности или приоритетности между Диоклом и Альхазеном, в случае с Альхазеном и Вителло картина предельно ясна. Польский схоласт явно следует мусульманскому первоисточнику во всем, в том числе и в вопросе об оптимальной форме зажигающего зеркала.

ДИОПТРИКА

Диоптрическая часть средневековой оптики, как, собственно, и античной, была разработана много хуже катоптрической. И не только потому, что закон преломления математически сложнее закона отражения и был открыт (если не считать работы Ибн Зала) лишь в XVII в. Дело в том, что свойства бронзовых зеркал различной формы (плоских, выпуклых или вогнутых) изучались еще со времен Евклида и Герона, а прикладное значение преломляющих элементов (линзоподобных или призматических) начало осознаваться только в конце Средних веков, с изобретением очков. Поскольку визуальные эффекты преломления на границе «вода — воздух» или в прозрачных кристаллах все же требовали исследования, то уже со времен поздней Античности предлагались различные устройства для количественной оценки изломов зрительных лучей [76].

Великий астроном древности Клавдий Птолемей еще в I в. н. э. сконструировал свой прибор для измерения преломления с целью дальнейшего приложения найденных зависимостей к явлению атмосферной рефракции — заметного смещения видимых позиций звезд относительно их действительных небесных координат. Именно после его наблюдений были получены оценки высоты верхней границы «аэр — эфир». Устройство Птолемея, как и анализ сделанных им наблюдений, подробно описано в ряде исследований [25], [76], [245], [341].

Альхазен также предложил свой вариант инструмента для исследования рефракции, но уже в XI в. Это устройство, описание которого помещено во втором разделе седьмой книги «Сокровища оптики» (рис. 18.1, 18.2), позволило ему провести ряд экспериментов по преломлению световых лучей. Их результаты были изложены автором в следующих разделах той же книги (рис. 18.3) и послужили математической основой тех взглядов на рефракцию, которые стали доминировать в европейской латинской традиции. (Подробное описание инструмента Альхазена приводится в Приложении 2.) То же приспособление еще через 200 лет описал Вителло. Однако нет никаких свидетельств, что он его действительно использовал.



Рис. 18.1
Страница из книги
«Сокровища оптики» Альхазена

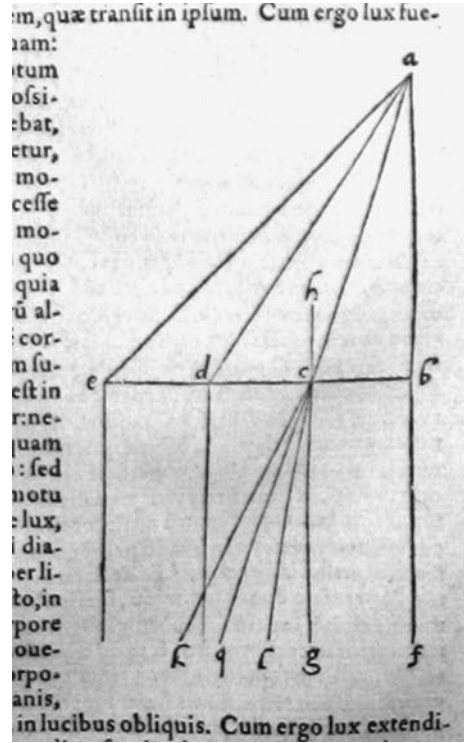


Рис. 18.3

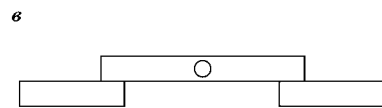
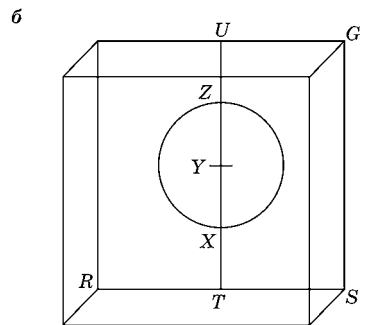
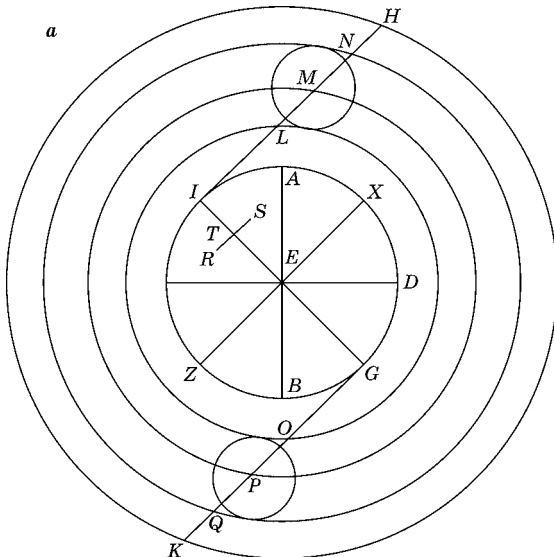


Рис. 18.2

18.1. ГЕОМЕТРИЯ ПРЕЛОМЛЕНИЙ. О ФОРМИРОВАНИИ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ОБРАЗОВ

Роджер Бэкон. «Об умножении образов», книга II, глава 3. Одно из наиболее полных на латинском Западе описаний преломления дает в своей работе об умножении образов Роджер Бэкон. Он начинает с того, что определяет суть преломленных направлений: «Должно быть разъяснено, что во втором случае [после отражений] умножение [образов, форм] происходит вдоль преломленных линий. И рефракция совершается двумя путями».

Сначала Бэкон рассматривает переход света из менее плотной среды в более плотную (из воздуха в воду или кристалл): «Когда вторая среда плотнее, чем первая, преломление образов на поверхности второй субстанции имеет место между прямым путем и перпендикуляром, проведенным во вторую среду из точки преломления». Иными словами, преломление происходит к перпендикуляру. Бэкон продолжает: «Следовательно, образы отклоняются от прямого пути в глубину второй среды и делят угол между прямым путем и перпендикуляром. Тем не менее деление происходит не всегда на две равные части, как думают некоторые».

В последнем замечании проявилось очевидное ретроградное развитие представлений о преломлении. Ведь еще Птолемей составил таблицы преломлений на трех границах [76], где не просто опровергал теорию «деления пополам», но и приводил близкие к действительности количественные соотношения между углами падения и преломления в широком угловом диапазоне. Многие средневековые авторы либо не были знакомы с этими измерениями, либо попросту не разобрались в данных Птолемея (об этом мы поговорим чуть ниже). В частности, к идее изменения преломленного угла вдвое по отношению к падающему возвращается Роберт Гроссетест в работе «О радуге».

Бэкон демонстрирует знакомство с вышеупомянутыми таблицами Птолемея: «Так как большее отклонение и меньшее преломление от прямого пути имеет место как результат различных плотностей второй среды, в соответствии с различными разностями в углах рефракции, определенных Птолемеем в книге V его „De aspectibus“ и Альхазеном в его книге VII...».

Бэкон настаивает на том, что количественные характеристики преломления зависят от свойств конкретных контактирующих сред. Здесь еще нет понятия «показатель преломления», но идея постоянства преломляющей способности границы двух данных сред просматривается, хотя и в терминах механической плотности тел: «Для более плотного второго тела большее преломление отклоняется от прямого пути по расчету сопротивляемости более плотной среды, поскольку именно плотность сопротивляется лучам, как учит Альхазен».

Не забывает Бэкон и о преломлении при переходе из более плотной среды в менее плотную: «Но когда вторая субстанция нежнее, чем первая, преломление образов на поверхности второго тела имеет место за пределами (по ту сторону) прямого пути, через отступление от перпендикуляра, проведенного в точке преломления. Таким образом, прямой путь оказывается между преломленным лучом и перпендикуляром. И отступление преломленного луча,

и величина угла варьируют в зависимости от степени нежности, мягкости второй среды».

Этот случай явно сложнее предыдущего, ведь именно здесь возникает эффект полного внутреннего отражения, когда, начиная с некоторых углов, свет вообще не может покинуть первую среду и попасть во вторую. В таблицах Птолемея это явление просматривалось, а вот у его средневековых последователей оно практически исчезло. Ниже мы увидим, что они даже попытались «дополнить» данные греческого астронома, чтобы все же составить полные таблицы для этого случая. Можно сказать, что, подобно тому как в катоптрике случай выпуклых зеркал оказался для геометрического анализа много легче случая зеркал вогнутых, в диоптрике преломление света при переходе из менее плотной среды в более плотную казалось средневековым перспективистам проще и логичнее, чем альтернативный случай.

Далее Роджер Бэкон переходит к рассмотрению преломляющих границ различной формы. Эта проблематика очевидно связана с двумя ключевыми вопросами средневековой оптики — строением глаза, в котором формируется изображение, и формированием аркоподобной радуги. Автор считает необходимым привести специальные графические представления: «...я должен проиллюстрировать диаграммами тот способ, которым преломление лучей может быть понято на плоских или сферических поверхностях. Сначала [рассмотрим] плоские поверхности, [докажем] что вся мощность преломления определяется ее [второй среды] формой... Если вторая среда имеет плоскую поверхность, а луч падает перпендикулярно, он не преломляется, как было показано. Но все неперпендикулярные лучи преломляются».

Рассматривая случай более плотной второй среды при плоской границе раздела, Бэкон повторяет, что луч преломляется между его прямым путем и перпендикуляром, проведенным во вторую среду из точки преломления, и иллюстрирует это (рис. 18.4). Для случая менее плотной (более нежной) второй среды прямое продолжение луча он рисует между преломленным лучом и перпендикуляром (рис. 18.5). Однако если второе тело сферично и плотнее, чем первое, преломление имеет место на его поверхности между прямым путем и перпендикуляром, идущим из центра к точке рефракции, что он и показывает на отдельном рисунке (рис. 18.6). А если второе сферическое тело нежнее, то прямой путь идет между перпендикуляром и преломленным путем, как это ясно из рисунка 18.7.

Здесь возникает важный момент, проясняющий суть зрительных средневековых теорий.

Поскольку было необходимо объяснить, каким образом в глазу формируется неперевернутое изображение, данные по рефракции обязаны были подтвердить теорию «двойного переворота» образов в хрусталике и стекловидном теле. Очевидно, что приведенные выше рисунки преломления на сферической границе в сочетании со следующей бэконовской тирадой были призваны убедить читателя в такой трактовке строения глаза: «И Птолемей в книге V, и Альхазен в книге VII согласны относительно этой двойной рефракции [в глазу], что для них не характерно. И они доказывают это путем использования инструмента, который они там показывают как созданный именно для этих целей. Таким образом, любой может видеть своим чувством,

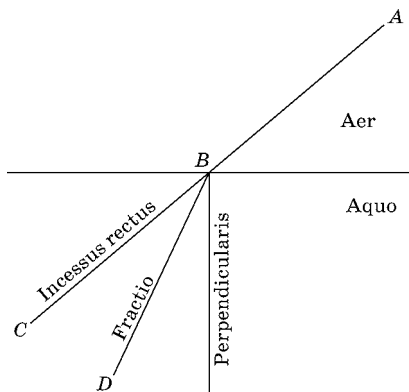


Рис. 18.4

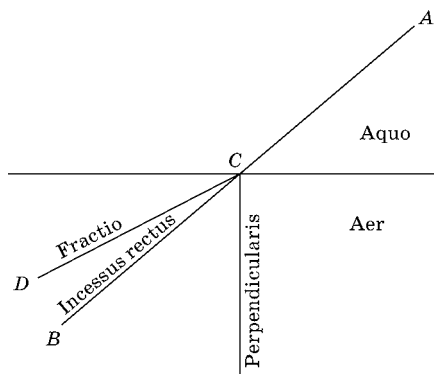


Рис. 18.5

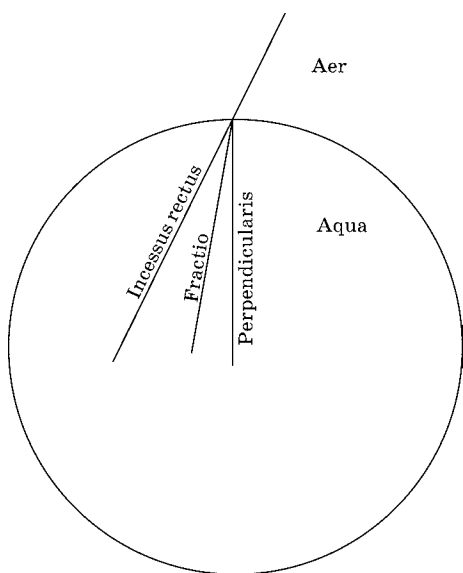


Рис. 18.6

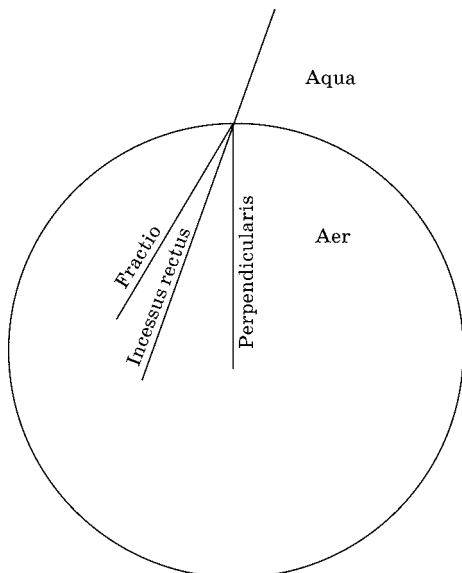


Рис. 18.7

как неперпендикулярные лучи преломляются. Так же они проверяют эти преломления через причины и эксперименты».

В заключение заметим, что Бэкон не предъявляет требования обязательного приготовления собственно экспериментов, в отличие от Альхазена и Вителло, включивших описание специального инструмента и полученные с его помощью данные в свои объемные трактаты.

Вителло. «Перспектива», книга X, теорема 8. Таблицы углов падения и преломления, измеренные на трех границах («воздух — вода», «вода — стекло» и «воздух — стекло»), Вителло предваряет описанием точно того же инструмента, который предложил Альхазен, заявляя, что все данные получены путем наблюдений с использованием этого устройства. Однако это утверж-

дение, по изложенным ниже причинам, подвергается сомнению практически всеми историками науки.

Вителло пишет, что измерения были проведены «так точно, как только возможно... для всех доступных прозрачных сред путем поворота лучей (из воздуха в воду и в стекло и из воды в стекло, соответственно из воды и стекла в воздух и из стекла в воду). И мы открыли, что углы преломления всегда одинаковы при падении из любой разреженной прозрачной среды в более плотную прозрачную среду. И при падении из одинаковых плотных сред в ту же самую разреженную среду».

«Углы преломления» в терминологии Вителло — это, по сути, углы отклонения, т. е. углы, формируемые продолжением падающего луча и преломленным лучом. Альхазен пользовался аналогичными терминами. Углам преломления в современном понимании соответствуют «преломленные углы». Далее мы будем использовать терминологию Вителло. Отсюда и установление обратимого (обоюдного) закона — угол преломления луча, падающего из среды *A* в среду *B*, равен углу преломления другого луча, идущего тем же путем, но в обратном направлении, из вещества *B* в среду *A*.

Методику составления искомых таблиц (табл. 1 и 2, рис. 18.8) Вителло описывает так: «В первой колонке мы разместили углы падения, затем прибавили другие углы, в соответствии с модами их кругов, которые мы должны установить спереди в заголовках колонн. И с помощью этих таблиц, экспериментально сформулированных с помощью ранее описанного инструмента, старательный исследователь может изучить углы преломления для любых всевозможных сред различной прозрачности».

Здесь, как и в предыдущей цитате, Вителло утверждает, что таблицы рефракции составлены на основе экспериментальных исследований.

Таблица 1

Преломление на границе более плотной среды

Углы падения общие	Преломленные углы «воздух — вода»		Углы преломления «воздух — вода»		Преломленные углы «воздух — стекло»		Углы преломления «воздух — стекло»		Преломленные углы «вода — стекло»		Углы преломления «вода — стекло»	
	град	град	мин	град	мин	град	мин	град	мин	град	мин	град
10	7	55*	2	5	7	0	3	0	9	30	0	30
20	15	30	4	30	13	30	6	30	18	30	1	30
30	22	30	7	30	19	30	10	30	27	0	3	0
40	29	0	11	0	25	0	15	0	35	0	5	0
50	35	0	15	0	30	0	20	0	42	30	7	30
60	40	30	19	30	34	30	25	30	49	30	10	30
70	45	30	24	30	38	30	31	30	56	0	14	0
80	50	0	30	0	42	0	38	0	62	0	18	0

* Печатное издание «Перспективъ» (1572) дает значение угла $7^{\circ}45'$. Однако три более ранних манускрипта, которые проверял Линдберг, все приводили значение, указанное в таблице [249].

Таблица 2

Преломление на границе более плотной среды

Углы падения общие	Преломленные углы «вода — воздух»		Углы преломления «вода — воздух»		Преломленные углы «стекло — воздух»		Углы преломления «стекло — воздух»		Преломленные углы «стекло — вода»		Углы преломления «стекло — вода»	
	град	мин	град	мин	град	мин	град	мин	град	мин	град	мин
10	12	5	2	5	13	0	3	0	10	30	0	30
20	24	30	4	30	26	30	6	30	21	30	1	30
30	37	30	7	30	40	30	10	30	33	0	3	0
40	51	0	11	0	55	0	15	0	45	0	5	0
50	65	0	15	0	70	0	20	0	57	30	7	30
60	79	30	19	30	85	30	25	30	70	30	10	30
70	94	30	24	30	101	30	31	30	84	0	14	0
80	110	0	30	0	118	0	38	0	98	0	18	0

secundum hoc fecimus has tabulas, quarum hæc est forma. Et præmittimus angulos incidentia

Tabula quantitatis angulorum incidentiæ omnibus sequentibus communis.	Anguli refracti ab ære ad aquam.		Anguli refracti eiusdem.		Anguli refracti ab ære ad vitrum.		Anguli refracti eiusdem.		Anguli refracti ab aqua ad vitrum.		Anguli refracti eiusdem.	
	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.
10	7	45	2	5	7	0	3	0	9	30	0	30
20	15	30	4	30	13	30	6	30	18	30	1	30
30	22	30	7	30	19	30	10	30	27	0	3	0
40	29	0	11	0	25	0	15	0	35	0	5	0
50	35	0	15	0	30	0	20	0	42	30	7	30
60	40	30	19	30	34	30	25	30	49	30	10	30
70	45	30	24	30	38	30	31	30	56	0	14	0
80	50	0	30	0	42	0	38	0	62	0	18	0

Tabula quantitatis angulorum incidentiæ omnibus sequentibus communis.	Anguli refracti ab aqua ad ærem.		Anguli refracti eiusdem.		Anguli refracti ab vitro ad ærem.		Anguli refracti eiusdem.		Anguli refracti ab vitro ad aquam.		Anguli refracti eiusdem.	
	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.	par.	minut.
10	12	5	2	5	13	0	3	0	10	30	0	30
20	24	30	4	30	26	30	6	30	21	30	1	30
30	37	30	7	30	40	30	10	30	33	0	3	0
40	51	0	11	0	55	0	15	0	45	0	5	0
50	65	0	15	0	70	0	20	0	57	30	7	30
60	79	30	19	30	85	30	25	30	70	30	10	30
70	94	30	24	30	101	30	31	30	84	0	14	0
80	110	0	30	0	118	0	38	0	98	0	18	0

Рис. 18.8

Но совершенно очевидно, что это неправда. Во-первых, величины не получены экспериментально, поскольку наборы чисел составляют регулярную последовательность — разности между углами преломления формируют арифметическую прогрессию с общей разностью в полградуса. Во-вторых, первая таблица, за исключением «углов преломления» (которые Вителло просто пересчитал путем вычитания «преломленных углов», измеренных от перпендикуляра, из углов падения) и «преломленного угла» в $7^{\circ}55'$, была взята из Птолемеевой «Оптики». Наконец, вторая таблица была высчитана из величин верхней части путем ложного применения закона обратимости. Соответственно она включает абсурдные результаты, такие как «преломленные углы», большие 90° и не демонстрирующие во всех случаях обязательно полного внутреннего отражения.

Вителло комментирует данные таблиц в терминах преломления лучей, вдоль которых движутся зримые формы или образы: «Из этих таблиц очевидно, что углы падения форм... вдоль луча, который исходит из точки видимого объекта и падает на поверхность прозрачного тела, дающего повышенную рефракцию, меньше. И те углы более отстоят от луча, который больше. Для случая, когда больший угол должен быть вычтен из прямого угла перпендикулярного луча, угол, который остается, меньше того остающегося угла, когда из прямого вычитается меньший угол. И в прозрачной среде, плотность которой больше, чем первой, угол преломления, который соотносится с большим углом падения, будет больше, чем угол преломления, соотносящийся с меньшим углом падения».

В этих качественных соотношениях достаточно трудно разобраться ввиду тяжелого стиля изложения, тем не менее все закономерности подмечены верно: и что касается роста степени отклонения луча при более наклонном падении, и в отношении большей рефракции на границах раздела сред с более отличающимися плотностями. Читатель должен помнить, что «угол преломления» у Вителло обозначает угол между падающим и преломленным лучами. Выражение «угол падения», однако, означает угол между падающим лучом и перпендикуляром.

В свойственном ему стиле Вителло отмечает еще несколько справедливых, но второстепенных закономерностей: «Превышение большего угла преломления над меньшим углом преломления будет меньше, чем превышение большего угла падения над меньшим. И отношение между углом преломления, соотносящимся с большим углом падения, и самим этим углом падения будет больше, чем отношение между углом преломления, соотносящимся с меньшим углом падения и самим этим углом. И преломленный угол, на который больший угол падения превосходит его угол преломления, будет больше, чем преломленный угол, на который меньший угол падения превосходит его же угол преломления».

В результате Вителло вслед за Птолемеем и Альхазеном формулирует почти все важные утверждения, касающиеся преломления лучей на плоских границах раздела двух сред:

- преломленный угол в более плотной второй прозрачной среде всегда будет меньше, чем угол падения;
- отношение преломленных углов для равных углов падения изменяется для различных плотностей второй среды;

- когда рефракция имеет место в воде и в стекле, то зримые формы, проходящие через один и тот же воздух при равных углах падения, имеют преломленные углы более острые в стекле, чем в воде;
- углы изменяются в средах различной плотности. Но если вторая прозрачная среда разреженнее, чем первая, тогда преломленные углы всегда больше, чем углы падения.

Упомянуты и результаты, представленные во второй таблице, но в этом случае приходится констатировать их прямую фальсификацию. О них Вителло пишет просто: «Данные второй части таблицы организованы обратным порядком». Анализировать эти данные бессмысленно, но автор пытается и ими подтвердить уже отмеченные закономерности: отношение преломленных углов и углов преломления к одним и тем же углам падения изменяется в соответствии с разреженностью второй прозрачности среды, а когда рефракция имеет место из стекла в воду или в воздух, то углы, формирующиеся в воздухе, больше, чем углы, формирующиеся в воде. Соответственно изменяется и отношение углов преломления к углам падения.

Заканчивается этот раздел «Перспективы» напоминанием о том, что эффекты преломления рассматриваются по отношению как к световым лучам, так и к зрительным формам: «Все это вещи, происходящие со светом и цветом и универсальные для всех форм в их рассеянии через прозрачные среды и в преломлении, которое происходит со всеми ними, в обоих случаях соответственно им самим и по отношению к зрению».

Иоанн Пеккам. «Общая перспектива», книга III, раздел 4. Приведем из этого раздела рассуждения, посвященные *локализации преломленных образов*. Как и в случае отражения, вопрос о том, где представляются наблюдателю объекты, видимые в зеркалах или через преломляющие поверхности, решался на основе поиска точек пересечения продолжений лучей, попадающих в глаз (или идущих из глаза), и перпендикуляров, опущенных из точек реальных предметов на отражающие или преломляющие поверхности. Уже говорилось, что такая методика, вполне применимая при небольших (в пределах 10°) углах между лучами и соответствующими перпендикулярами, давала существенно неверные результаты при больших углах. Однако, поскольку до общей теории аберраций было еще далеко, средневековые оптики более или менее успешно применяли именно такой подход, особо не сомневаясь в его истинности.

Утверждение 4. *Изображение локализуется на пересечении пирамиды, под которой виден объект, и перпендикуляров, которые можно представить опущенными из видимого объекта на поверхность смежной прозрачной среды.*

Комментарий автора к приведенному утверждению в переложении на современный язык таков: «Как и в случае отражения, изображение любой данной точки располагается на пересечении луча, под которым точка видна, и перпендикуляра, опущенного из этой точки на преломляющую поверхность. Однако объект состоит из многих точек, и коллекция лучей, под которыми эти точки видны, составляет пирамиду». Именно поэтому в изложении данного утверждения Пеккам говорит о пересечении пирамиды и перпендикуляров.

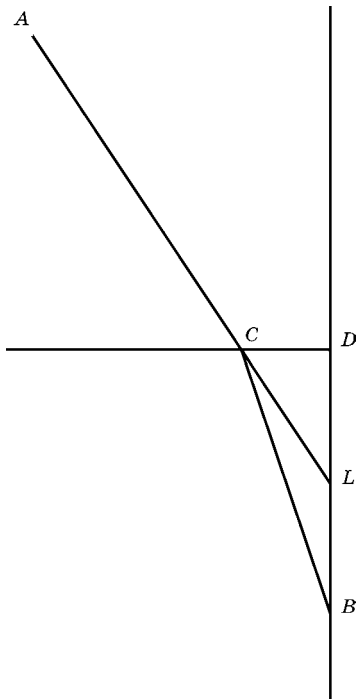


Рис. 18.9

Иоанн Пеккам приводит и графическое обоснование данного утверждения, опираясь на несколько постулатов из теории прямого видения: «Как мы показали ранее, все, что видится, воспринимается по прямым линиям; и благодаря способности лучей схватывать глаз воспринимает объект, который представляется находящимся на конце прямолинейного продолжения луча. Следовательно, как и восприятие объекта на пересечении перпендикуляра и продолжения луча, составляющее базис для зеркал, так и для данного случая справедливо его нахождение на пересечении луча и перпендикуляра, опущенного из видимого объекта. Например, пусть A — глаз, B — видимый объект, BC — наклонный луч (преломленный в точке C) и продолжающийся лучом CA , который и представляет предмет глазу (рис. 18.9). BLD — перпендикуляр. И я утверждаю, что точка B воспринимается находящейся в точке L ».

Иллюстрация, естественно, приведена к более современному виду, но ее суть оставлена такой же, какой она предстала перед читателем

в XIII в. Здесь очевидно желание автора, как и всех прочих перспективистов, свести сложные случаи наклонных отражений или сильных преломлений к более простому линейному приближению, которое много позже назовут приосевым или параксиальным. Отдельную ценность для средневековой оптики представлял случай преломления на сферической поверхности, поскольку доминирующая гипотеза о зрительном механизме базировалась на эффективных преломлениях сферическими оболочками глаза. Поэтому во всех оптических работах того времени, в том числе и у Роджера Бэкона, этот случай рассматривался отдельно.

18.2. ПРИЧИННЫЙ АНАЛИЗ ПРЕЛОМЛЕНИЙ

Роджер Бэкон. «Об умножении образов», книга II, глава 5. Следуя принятой в Средние века методике, обсуждение причин преломлений Бэкон начинает с механических аналогий, причем большая их часть иллюстрирует эффекты скорее отражения, нежели преломления: «...падающий объект будет возвращаться вдоль того же пути, по которому он приближался, ввиду прямизны его приближения, как мяч, брошенный против стены или другого сопротивляющегося проникновению как единое целое. И мяч, падающий наклонно, отклоняется вперед к другой стороне перпендикуляра в соответствии с направлением его наклонного падения, и это очевидно для чувства. И он не возвращается по тому же пути, вследствие слабости его падения. Экспериментам на сей счет несть числа».

Далее он делает ремарку, приближая свою аналогию к случаю преломления: «Но прозрачная среда не сопротивляется проникновению образов как единое целое, заставляя их развернуться; так действуют только плотные зеркальные субстанции». В этой разнице действия зеркальной и прозрачной сред он видит причину того, почему «образы, падая на прозрачную среду или наклонно, или перпендикулярно, проникают в нее».

Важным для дальнейших рассуждений Бэкона, да и для всей средневековой теории рефракции является следующее утверждение: «Поскольку перпендикулярные образы сильнее, а наклонные — слабее, то оба этих типа не могут проникать в прозрачную среду одинаково». При желании здесь можно усмотреть робкую попытку объяснить разворот луча при преломлении путем его разложения на нормальную и касательную компоненты. Но в любом случае именно эта модель — ослабление зрительных образов при наклонном падении — лежала в основе объяснения механизма видения.

Большинство демонстраций, подтверждавших данное утверждение, также состояло из механических примеров, с них и начинается обсуждение. Меч режет ветку более глубоко, если направлен перпендикулярно к ней; шансы человека на выживание возрастают, когда он уворачивается от прямого удара. Бэконовское утверждение о том, что перпендикулярное *пересечение* среды сильнее, чем наклонное, фактически подтверждалось только примерами того, что перпендикулярное *падение* на сопротивляющуюся поверхность сильнее, чем наклонное. То есть перед нами опять обсуждение эффекта скорее отражения, нежели преломления.

Тем не менее Бэкон продолжает настаивать: «Но нет пути кроме прямолинейного и наклонного курса. Теперь, поскольку прямой путь сильнее, он подходит перпендикулярным образам, позволяя им проходить по той же прямой линии во вторую среду. А наклонный курс более подходит касательным образам. Следовательно, перпендикулярные образы не наклоняются и не преломляются, поскольку отклонение и есть рефракция. Но наклонные образы преломляются на поверхности второй среды, поскольку в этом случае сопротивление среды сильнее, чем при перпендикулярном падении, ввиду слабости наклонных образов». То есть, с одной стороны, Бэкон говорит о «слабости образов», а с другой — о «силе сопротивления среды». Похоже, что в его модели эти свойства различных объектов (среды и образов) оказываются связанными — чем слабее образы, тем сильнее им сопротивляется среда.

Так или иначе Бэкон должен был объяснить такое поведение наклонных лучей некоторыми характеристиками прозрачных сред, что он и делает в следующем абзаце: «Любая прозрачная среда обладает корявостью, грубостью, благодаря чему может сопротивляться чему-либо и мешать прохождению образов. Как говорил Альхазен в седьмой книге, прозрачность естественных вещей ограничена таким образом, что не может продолжаться бесконечно, и есть некоторая грубость даже в небесной субстанции. Соответственно оба типа образов (перпендикулярный и наклонный) испытывают некоторые помехи, но наклонные — больше».

Интересно, что Бэкон счел необходимым отметить разницу в характере движения перпендикулярных образов в различных средах. Хотя они и про-

должают движение по прямой без преломления, но более плотная среда обязана изменить качество этого движения: «Принимая во внимание силу перпендикулярных образов, понятно, почему они не отклоняются от прямого пути, тем не менее любая грубость произвольной среды вносит большую последовательность в пересечение среды перпендикулярными образами. Конечно, если дана пустая среда без любых естественных несовершенств и если свет или другое любое тело может пройти через нее, то и здесь может возникнуть некоторая последовательность по причине собственно среды, просто как результат предварительного и последовательного характера пространства самого по себе, независимо от каких-либо несовершенств».

В этом рассуждении почти дословно изложены аргументы Фомы Аквинского, которые он приводил, высказывая суждения о последовательности движения в пустой среде. Фома, как уже отмечалось ранее, использовал концепцию Аристотеля о пространстве как вместилище вещей, адаптировав ее к христианской традиции. Роджер Бэкон, при всем его критическом настрое к церковным авторитетам, не мог игнорировать эту позицию и весьма успешно применил ее в, казалось бы, далекой от догматов томизма сфере оптики преломляющих сред. В его словах еще нет упоминания об изменении скорости движения образов (они еще впереди), но уже просматривается желание дифференцировать движение в различных средах даже для перпендикулярных образов.

Возвращаясь к рефракции, Бэкон продолжает: «Но в натуральном непустом пространстве, всегда имеющем некоторые естественные несовершенства, необходимо, чтобы они создавали препятствия, то одно, то другое, и порождали новую последовательность. Следовательно, благодаря своим несовершенствам прозрачная среда сопротивляется и наклонным, и перпендикулярным образам и вводит последовательность в оба типа. И наклонные, и перпендикулярные образы в этом одинаковы. Но прозрачная среда сопротивляется наклонным образам сильнее, чем перпендикулярным, ввиду их слабости, не позволяющей им продолжать движение по прямой вдоль той же линии, вдоль которой они двигались в первой субстанции».

Здесь Бэкон доказывает, что образы, падающие на прозрачную поверхность наклонно, преломляются, тогда как образы, падающие перпендикулярно, — нет, поскольку наклонные образы слабее и легче отклоняются. Смысл в том, что среда сопротивляется однородно во всех направлениях и что вариации вводятся только через изменение силы образов. Однако в следующем параграфе Бэкон ясно утверждает, что плотная среда сопротивляется менее в направлении перпендикуляра к поверхности по сравнению с наклонными направлениями. Данные образы выбирают путь ближе к перпендикуляру, потому что находят его более легким для прохождения: «Теперь рассмотрим причину того, почему образы, проходящие через более нежную среду в более грубую, преломляются к перпендикуляру, проведенному через точку рефракции (т. е. между прямым путем и перпендикуляром). Дело, оказывается, в том, что перпендикулярный курс сильнее, чем любой другой курс, более отдаленный от перпендикуляра, как декларируют резоны и утверждает Альхазен. Следовательно, образы (в случае указанных выше условий) *двигаются заметно более быстро в более нежной среде, чем во второй*

более плотной, ввиду огромного сопротивления, обусловленного несовершенствами таких сред».

Вот и долгожданное признание. Выделенную курсивом фразу Бэкона стоило бы не только многократно подчеркнуть, но и вынести в заголовок любого современного учебника по оптике. Здесь мы впервые встречаем прямое указание на временные параметры движения образов, хотя в этот период еще нет самого термина «скорость», обоснованием которого начнут заниматься только в эпоху Ренессанса. Бэкон явно опережает свое время, тем более что им дается абсолютно верное соотношение: в менее плотной среде образы движутся быстрее. Напомним, что даже для Исаака Ньютона в конце XVII в. это было вовсе не очевидно. Опираясь на акустические аналогии, Ньютон считал, что свет в воде или стекле распространяется быстрее, чем в воздухе. Возражавший ему Христиан Гюйгенс, который в конце концов оказался прав в этом заочном споре, фактически следовал средневековым заветам Роджера Бэкона.

Следует выделить еще одну фразу Бэкона, соседствующую с признанием различной скорости «умножения образов» в разных средах. Он пишет: «Естественная сила, генерирующая образы, испытывает сильное желание двигаться более легким путем и выбирает его». Что это, как не частный пример общего принципа минимального действия, громко провозглашенного физикой только после Ньютона? Справедливости ради заметим, что здесь у Бэкона имеется близкий по тематике предшественник: высказанная еще в Античности идея минимальной длины отраженных лучей (принцип Герона) также являлась важной оптической иллюстрацией данного общезначимого закона.

Продолжая схоластические рассуждения о причинах преломления, Роджер Бэкон использует весь арсенал доступных ему философских средств: «И поскольку противоположное порождает противоположное (действие равно противодействию)... то необходимо, чтобы, когда образы проходят сквозь плотную субстанцию в нежную, они бы изгибались, поворачивали от перпендикуляра так, чтобы прямой путь проходил между линией преломления и перпендикуляром, восстановленным в точке преломления».

По Бэкону, поскольку в более плотной среде благодаря ее несовершенствам имеется большое сопротивление, образам необходимо искать более легкий путь (ближе к перпендикуляру), поскольку любой другой путь будет для них намного труднее. А в менее плотной среде образы способны принимать, присваивать направление прочь от перпендикуляра, и этот выбор должен быть необходим до пределов, определяемых разницей в плотностях соседствующих сред.

Бэкон приводит еще много подобных рассуждений, тщательно разбирая всевозможные случаи сочетания сред и углов падения. Закончить цитирование его текста, посвященного объяснению причин рефракции, хочется отрывком, объединяющим в целостную картину и свойства образов, и характеристики среды, и общезначимые принципы, формулируемые, естественно, в схоластической манере: «И следовательно, образы проходят вперед с неохотой, оказываясь противоположными их собственной диспозиции. Соответственно если первая среда для образов... только модерирует легкое про-

хождение... то они не должны выбирать превосходящую противоположность, в соответствии с которой они должны отклоняться в направлении легчайшего прохода (то есть к перпендикуляру). Но определенную степень, на которую образы способны, они должны сохранить... и происходит то, что образы отклоняются от прямого пути в направлении от перпендикуляра, поскольку этот путь будет достаточным для них и способным завершать, удовлетворять их. Например, когда образы проходят сквозь мягкую среду в плотную, то сохраняется их легкое прохождение в поперечном направлении во второй среде так, что попадание в любую среду так глубоко, как возможно, пропорционально и однородно. Однако чрезмерные грубости, несовершенства второй среды (когда образы идут из разреженной субстанции в плотную) побуждают производящую (образующую) силу образов так, что они отклоняются в направлении более легкого пересечения».

18.3. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ.

БЫЛО ЛИЛИ НЕТ ОТКРЫТИЕ ИБН ЗАЛА?

Существенный вклад в развитие диоптрического раздела средневековой оптики, посвященного преломлению световых или зрительных лучей в прозрачных средах, как ни странно, был сделан благодаря вниманию к весьма популярной катоптрической проблеме — вопросу о зажигательных зеркалах.

Недавние открытия Рошди Рашеда в области средневековой арабской оптики позволяют по-новому взглянуть на эту страницу истории развития оптического знания [301], [304], [305].

Речь идет об уже упомянутой работе Абу Саада аль-Али ибн Зала, написанной между 983 и 985 гг. Начав с изучения зажигательных зеркал, Ибн Зал, похоже, первым в истории приступил к систематическому исследованию зажигательных линз. Недавнее внимательное прочтение этого труда Ибн Зала под новым углом освещает и достижения его последователя Альхазена.

Ибн Зал был автором нескольких оптических трактатов. Один из них, с названием «Доказательство того, что небесная сфера не полностью прозрачна», дошел до наших дней в сопровождении комментариев Альхазена. Он, по-видимому, был составлен в то время, когда Ибн Зал изучал пятую книгу «Оптики» Птолемея. Это следует из применяемой им терминологии, впервые введенной Птолемеем. Замечательно, что в своем исследовании Ибн Зал отводит важное место понятию оптической среды, показывая, что любая среда, в том числе небесная сфера, отличается некоторой непрозрачностью, которая ее определяет. Одновременно — и это явилось подлинным достижением Ибн Зала — он *характеризует* среду с помощью некоторого соотношения, которое затем использует в своих сочинениях о зажигательных зеркалах и линзах. По мнению Рашеда, именно это понятие о постоянном соотношении как некоей характеристике среды распространения света становится важнейшей частью посвященного линзам исследования, в котором обнаруживаются намеки на формулировку закона преломления.

Перейдем к подробному рассмотрению этого фрагмента, история реконструкции которого весьма поучительна [146].



Два манускрипта Ибн Зала хранились по отдельности: в Национальной библиотеке Аль-Захирия в Дамаске и в Национальной библиотеке Милли в Тегеране. На обоих стоит имя автора, и оба посвящены одной и той же теме — зажигательным инструментам. Рашед доказал, что речь идет о едином тексте: листы из Дамаска являются большим фрагментом текста, хранящегося в Тегеране [304]. Текст из Тегерана более длинный, но он был сильно поврежден, и страницы в нем идут не по порядку. Таким образом, задача Рашеда состояла в том, чтобы понять структуру трактата, а затем восстановить порядок страниц манускрипта из Тегерана и выяснить, каких частей не хватает. Только проделав эту работу, Рашед смог доказать, что текст из Дамаска представляет собой недостающие части, и утверждать, что мы располагаем большей частью труда Ибн Зала и что, к счастью, отсутствие некоторых фрагментов не препятствует пониманию текста — напротив, легко можно вычислить, о чем в них говорилось и каким образом развивалась рассматриваемая тема.

Вопрос, анализируемый Ибн Залом, можно сформулировать следующим образом: мы хотим поджечь определенный предмет с помощью потока света с близкого или дальнего расстояния посредством отражения или преломления. Для этих четырех способов мы получаем четыре разных прибора.

1. Если лучи могут рассматриваться как параллельные (т. е. источник света находится на столь далеком расстоянии, что его можно считать точечным и бесконечно удаленным, из-за чего угол расхождения между лучами оказывается минимальным) и мы используем отражение, то в этом случае нам необходимо параболическое зеркало.

2. Также при отражении, но используя световой поток, находящийся на конечном расстоянии, мы применяем эллипсоидное зеркало.

3. При преломлении и со световым потоком на бесконечном расстоянии мы имеем дело с плосковыпуклой линзой.

4. И наконец, в случае со световым потоком на конечном расстоянии и преломляющим прибором мы используем двояковыпуклую линзу.

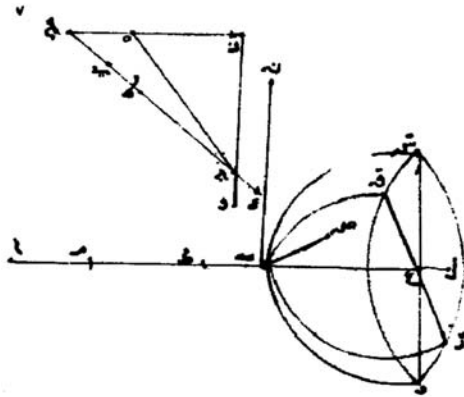
В двух последних случаях Ибн Зал справедливо предложил придавать выпуклой преломляющей поверхности гиперболическую форму.

Для доказательства приоритета Ибн Зала в формулировке закона преломления наиболее важными, естественно, являются два последних пункта (рис. 18.10, 18.11).

Каждая из четырех книг трактата состоит из теоретической части, включающей изучение графика, и практической части, где объясняется, как рисовать этот график, так как автор предлагает создавать описанные зажигательные приборы. Сделанный перевод был основан на арабском тексте, критически пересмотренном и опубликованном Рошди Рашедом [304].

В начале своего исследования Ибн Зал рассматривает поверхность плоскости GF как ограничивающую кусочек прозрачного и однородного кристалла (рис. 18.12). Затем он рассматривает прямую CD , в соответствии с которой свет распространяется в кристалле, прямую CE , в соответствии с которой он преломляется в воздухе, нормаль в точке G к поверхности GF , которая пересекает прямую CD в точке H , а преломленный луч — в точке E .

Очевидно, Ибн Зал применяет в данном случае известный закон Птолемея, согласно которому луч CD в кристалле, луч CE в воздухе и нормаль GE



انه ان ما تدهلها سطح مستوي غير ذلك لان هذا السطح يتقطع سطحه على مركز
 على نقطة مت تلايد من ان يتقطع احد خطي م ب ن بص فليكن ذلك
 الخط جيسر والنصل المشرق من هذا السطح وينقطع على سطح ق ر
 خط ب ن فلان هذا السطح يماس سطح م ب على نقطة ت بخط
 م ب ق ل ان يتقطع ق ب ر على نقطة ت وكذلك خط م ب ق ر فلهذا
 فلا يماس سطح م ب على نقطة ت سطح مستوي غير سطح م ب ن ص

Рис. 18.10
 Фрагмент из трактата Ибн Зала,
 посвященный изучению
 преломления света

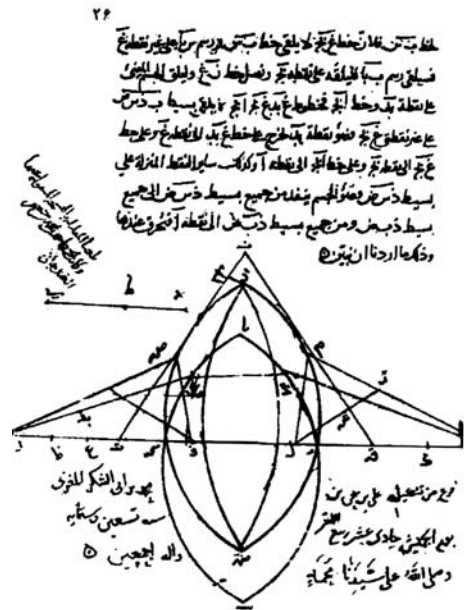


Рис. 18.11
 Фрагмент из трактата Ибн Зала,
 посвященный изучению
 преломления света

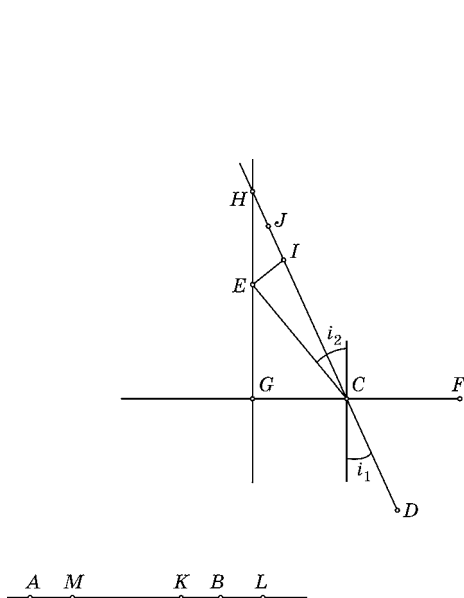


Рис. 18.12

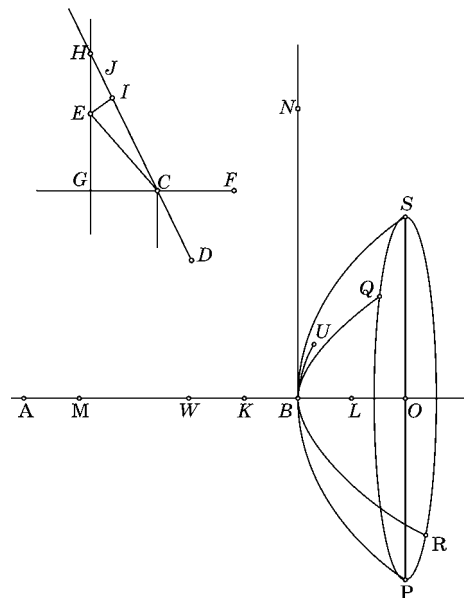


Рис. 18.13

к плоской поверхности кристалла лежат в одной плоскости. Ибн Зал пишет также, в свойственной ему краткой манере и согласно своему обыкновению без какого бы то ни было концептуального комментария: «Таким образом, отрезок CE меньше, чем CH . Отделим от отрезка CH отрезок CI , равный отрезку CE ; разделим отрезок HI пополам в точке J ; допустим отношение отрезка AK к отрезку AB равным отношению отрезка CI к отрезку CJ ; проведем прямую BL на продолжении прямой AB и отложим отрезок BL , равный BK ».

В процитированном абзаце Ибн Зал постулирует, что отношение $CE : CH$ меньше единицы, и это будет им использовано на всем протяжении исследования о линзах, выполненных из того же кристаллического материала. Действительно, он каждый раз приводит одно и то же рассуждение и воспроизводит тот же самый рисунок, когда обсуждает преломление в этом кристалле (рис. 18.13).

По Рошди Рашеду, данное соотношение есть не что иное, как инвертированное определение показателя преломления n в этом кристалле по отношению к воздуху.

Действительно, если рассмотреть углы i_1 и i_2 , образованные лучами CD и CE соответственно при помощи нормали GH (рис. 18.12), то легко получить следующие пропорции:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{CG}{CH} \cdot \frac{CE}{CG} = \frac{CE}{CH}.$$

Ибн Зал выбирает на отрезке CH точку I таким образом, что $CI = CE$, и вторую точку J в середине отрезка IH .

Тогда это отношение преобразуется к виду:

$$\frac{CI}{CH} = \frac{1}{n}.$$

Отношение CI к CH действительно характеризует данный кристалл для любого преломления. Кроме того, при исследовании плосковыпуклой и двояковыпуклой линз Ибн Зал показывает, что выбор кривизны гиперболы для формы обработки поверхности линзы зависит от природы кристалла: воспламенение осуществляется в фокусе гиперболы, если ее отклонение от центра составляет $e = 1/n$. Данный результат позволил Ибн Залу ввести при анализе преломления лучей на поверхности двух сред своеобразное «правило возврата в обратную сторону», основанное на изучении свойств двояковыпуклых линз. По сути, это сформулированный для диоптрических задач современный закон обратимости световых лучей.

Таким образом, мнение о том, что Ибн Зал почти за 700 лет до Декарта и Снеллиуса открыл закон преломления, представляется обоснованным. Более того, это открытие Ибн Зала в сочетании с применением «правила возврата в обратную сторону» в случае преломления позволяет по достоинству оценить тот путь, который средневековые арабские оптики прошли со времен Птолемея. Ибн Зал получил возможность обратиться к количественному преломлению в линзах в том числе благодаря исследованиям его мусульманских предшественников.

Приведем для примера два других построения Ибн Зала, характеризующих уровень его геометро-оптических рассуждений. Он показал, что солнечные лучи, параллельные оси OB (рис. 18.14), преломляются на гиперболической поверхности и что преломленные лучи сходятся в точке A . Затем он продемонстрировал, что лучи света, исходящие из фокуса N гиперboloида (рис. 18.15), падая на поверхность ZSU' , проникают в это геометрическое тело, встречают параллельно оси SB вторую преломляющую поверхность ZBU' и распростираются до точки A ; в этой точке они подсвечиваются.

Ибн Зал задумал и сформировал целую область исследований, посвященных диоптрическим орудиям, вызывающим воспламенение. Вынужденный думать о различных конических сечениях, помимо параболы и эллипса, например о гиперболе как «основной кривой диоптрики», он естественным образом пришел к открытию закона преломления. Именно с этих пор диоптрика стала разделом оптики, связанным с распространением света, независимо от проблем видения. Как писал Рашед, «глазу не остается места среди орудий воспламенения, не более, впрочем, чем предмету видения». Богатая материалом для технического воплощения, эта новая дисциплина была еще бедна физическим содержанием: оно сводилось к нескольким рассуждениям, касающимся изменения направления лучей и энергетических преобразований. Например, Ибн Зал, по крайней мере в письменных сочинениях, дошедших до наших дней, никогда не пытался объяснить, почему некоторые лучи меняют направление и концентрируются, когда попадают в другую среду: ему было достаточно знать, как пучок параллельных лучей на оси плосковыпуклой гиперболической линзы производит путем преломления конвергентный пучок лучей. Что касается понимания, каким образом концентрация вызывает воспламенение, то в качестве ответа Ибн Зал довольствуется тем, что дает определение светоносному лучу как обладающему воспламеняющим воздействием, постулируя, как это, впрочем, делали и его последователи в течение еще довольно длительного периода, что «нагревание пропорционально количеству лучей» [146].

Чтобы передать ощущение научной мысли того времени, в Приложении 3 мы приводим перевод оригинального текста Ибн Зала, посвященного преломлениям в линзах.

Чтобы передать ощущение научной мысли того времени, в Приложении 3 мы приводим перевод оригинального текста Ибн Зала, посвященного преломлениям в линзах.

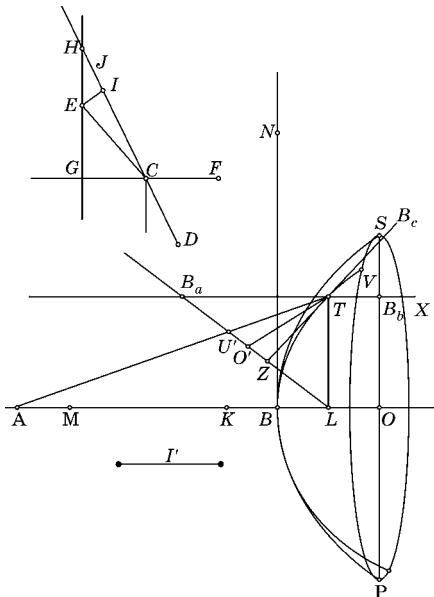


Рис. 18.14

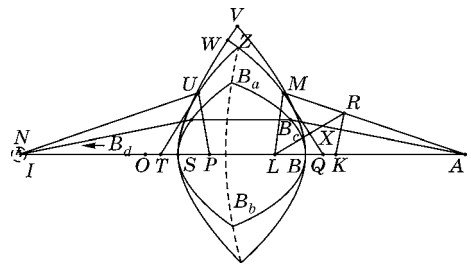


Рис. 18.15

18.4. О ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ГЛАЗА

Вопрос о преломлениях в глазных оболочках излагается в третьей книге трактата Роджера Бэкона «Opus Majus» (раздел 2, главы 2–3) [123].

Сначала рассматривается случай, когда глаз расположен между центром кривизны поверхности и объектом: «Если глаз находится в более нежной среде, и вогнутость расположена перед глазом, и глаз находится между центром и объектом (рис. 18.16), то последний воспринимается находящимся ближе, чем актуальное его положение, и видится под бóльшим углом».

Предлагаемая в этом случае геометрическая схема поиска мест локализации преломленных образов приводит Бэкона к парадоксальному выводу: зрительный угол больше, образ ближе, но линейные его размеры — меньше. «Раз это так, то зрительный угол больше, чем угол между прямыми линиями, проведенными из глаза на концы объекта без преломления. А значит, изображение меньше (в абсолютных величинах), чем собственно объект». Такой ситуации, естественно, не возникает при правильном построении преломленного изображения.

Далее Бэкон рассматривает случай, когда центр кривизны преломляющей поверхности вынесен вперед: «Если глаз расположен в более нежной среде, и вогнутость перед глазом, и центр кривизны более плотной среды расположен между глазом и объектом (рис. 18.17), то объект все еще кажется расположенным ближе, но угол — меньше и изображение тоже меньше». Здесь здравый смысл не нарушается — при меньшем зрительном угле рассчитанная Бэконом величина изображения также меньше предмета.

Теперь пора перейти к обратному соотношению плотностей двух сред, составляющих сферическую границу преломления: «Но если глаз находится в более плотной среде, и вогнутость прямо перед глазом, и глаз между центром кривизны и объектом (рис. 18.18), тогда объект представляется дальше его истинного места, более удаленным от глаза и под меньшим углом». Как и в первом случае, место локализации определяется неверно, и в результате «изображение будет больше (в абсолютных единицах)». Если же центр кривизны среды располагается между глазом и видимым объектом, то условия наблюдения остаются теми же (рис. 18.19) и изменение линейного размера преломленного образа соответствует изменению зрительного угла.

Таким образом, из четырех рассмотренных случаев во втором и четвертом методика Альхазена — Бэкона оказалась применимой, в первом и третьем — нет.

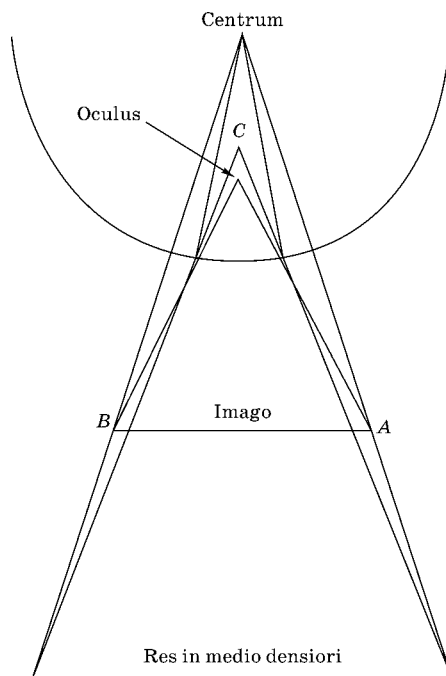


Рис. 18.16

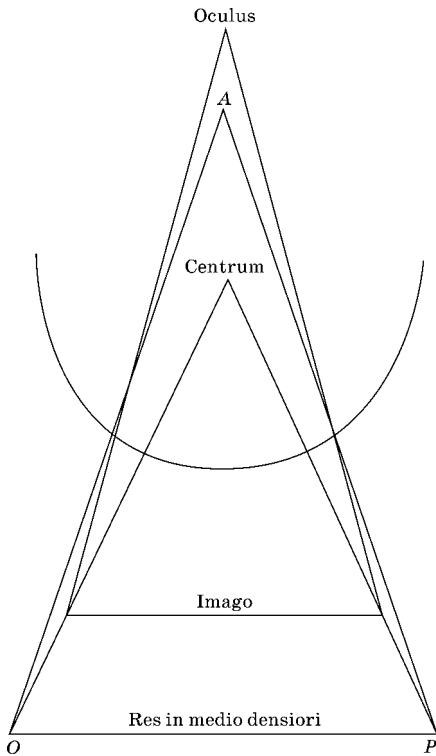


Рис. 18.17

Как было принято в схоластическом диспуте, центральное место при обсуждении преломления отводилось вовсе не количественным закономерностям, математическим выкладкам или геометрическим построениям, а вербальному логическому анализу причин явления. Поэтому в любую средневековую книгу по перспективе обязательно включался раздел, посвященный причинному (каузальному) анализу преломлений.

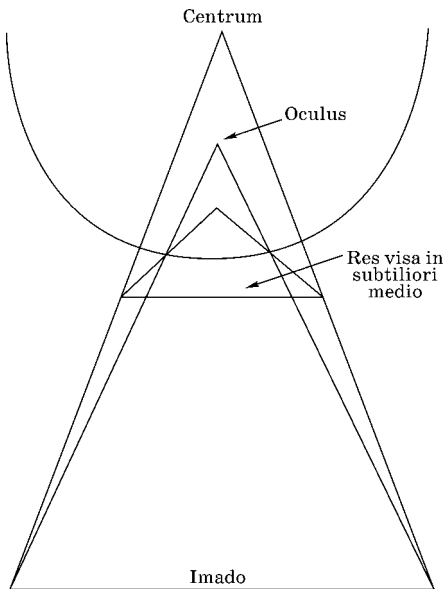


Рис. 18.18

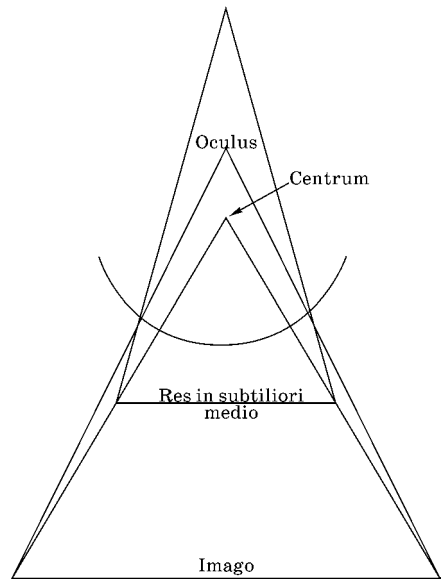


Рис. 18.19

ГЛАЗ КАК ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Если у тебя есть глаза, то это еще не значит,
что у тебя есть зрение.

Би Дорси Орли

Возвращаясь к трудам отца оптики Альхазена, вспомним, что он систематически изучал поведение света в различных средах, будучи убежден, что световые и цветовые формы окружающих предметов распространяются независимо от того, наблюдает за этим чей-нибудь глаз или нет. Альхазен в деталях описал анатомию глаза, что предшествовало сформулированной им гипотезе о формировании изображения при зрительном восприятии. Лишь после того, как он изложил физиологическое устройство глаза, он показал его функциональное значение как оптической системы. Таким образом, Альхазен впервые по отдельности последовательно изложил то, что можно было бы назвать *описательной* и *функциональной* анатомией глаза [314], [315].

19.1. АНАТОМИЯ ГЛАЗА ПО АЛЬХАЗЕНУ

Описательная анатомия. Рассматривая глаз как прямое разрастание мозга, Альхазен начинает с того, что описывает оптические нервы как два обособленных канала, происходящих из оболочки мозга. Они выступают с двух сторон передней части мозга и соединяются, образуя перекрест зрительных нервов (хиазм), который находится на средней линии. Вновь разъединяясь, эти нервы соединяются затем с глазницей каждого глаза. Глубокий оптический нерв проникает в глазницу через отверстие и расширяется, чтобы стать собственно глазом. Глазное яблоко находится в глазничной костной полости. Пространство между глазничной полостью и глазным яблоком заполнено слоем питательного жира. Альхазен рассматривает каждую часть глаза, начиная с протяженности внешней капсулы оптического нерва, которая формирует склеру и роговицу глаза. Он отмечает, что внутренний канал формирует сосудистую оболочку глаза, или оболочку «в виде грозди», которая включает ресничное тело, радужную оболочку и собственно сосудистую оболочку глаза. Хотя это описание соответствует анатомии глаза по Галену, в нем присутствуют отличия в подходе. Например, зона глаза, расположенная за радужной оболочкой, которая соответствует задней и стекловидной камерам глаза, формирует то, что Альхазен называет *увеальной* или *хориоидальной*

сферой. Передняя поверхность этой непрозрачной сферы представляет собой круглое отверстие (зрачок), которое находится напротив воронки оптического нерва. Зрачок и сосудистая оболочка покрыты роговицей, твердой и прозрачной оболочкой, представляющей собой продолжение склеры. Внутренняя и внешняя поверхности роговицы тщательно рассмотрены и описаны в виде параллельных плоскостей постоянной толщины. Пространство перед и за радужной оболочкой заполнено прозрачной водянистой жидкостью, имеющей консистенцию белка. Эта жидкость контактирует с внутренней вогнутой поверхностью роговицы и — посредством зрачка — с передней стороной хрусталика. Данное описание показывает, что Альхазен был хорошо знаком с анатомией глаза в том, что касается передней и задней глазных камер, и в этом заметно превосходил Галена.

Сразу за зрачком находится линза хрусталика, которая описывается Альхазеном как тело маленького размера, сравнимое со стеклом ввиду своей прозрачности. Передняя поверхность хрусталика, снаружи похожая на линзу, имеет приплюснутую форму, следующую за изгибом сосудистой оболочки. За хрусталиком находится стекловидное тело, или «жидкость, сравнимая со стеклом». Нерв, простирающийся в воронку, содержащую стекловидное тело, связан с ресничным телом и хрусталиком. Альхазен рассматривает хрусталик и стекловидное тело как единое тело, состоящее из двух частей, имеющих разное светопропускание. Форма объединенного тела является сферической. Как до него Ибн Зал, а после — Вителло, Альхазен туманно описывает свойство, которое сегодня мы называем оптической плотностью и характеризуем показателем преломления. В тексте «Сокровища оптики» для этого используется несколько терминов: «плотность», «прозрачность», «проводимость», «пропускание». Наличие в глазу сферической границы раздела «хрусталик — стекловидное тело с различной прозрачностью» сыграло важную роль в теории формирования зрительных образов.

Далее автор описывает, как полужидкие части глаза, такие как водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело, удерживаются при помощи глазных оболочек, которые определяют и поддерживают их сферические формы. Например, водянистая влага не только заперта роговицей и сосудистой оболочкой (ресничное тело и радужная оболочка), но и ограничена сзади тонкой мембраной, называемой паутиной. Эта мембрана покрывает хрусталик и стекловидную жидкость. Глазное яблоко поддерживается в орбите при помощи склеры.

В описании Альхазена представлены некоторые из элементов анатомии Галена: глубокий оптический нерв; оптическое отверстие, находящееся напротив зрачка, вместо того чтобы быть слегка смещенным в направлении носа по отношению к зрачку; хрусталик, прямо контактирующий со стекловидной жидкостью; паутиная мембрана. В нескольких случаях различий Альхазен дает объяснения, избегая телеологических комментариев в стиле Галена. Описание состава и качества различных типов влаги в организме и «свойственных им темпераментов» было неотъемлемой частью античной и раннесредневековой анатомии. Изложение Альхазена концентрирует внимание на форме, расположении и предназначении частей глаза, которые являются постоянными, а их взаимодействие — неизменным. Показав, как

устроен глаз, Альхазен представил оригинальное исследование его анатомии как оптической системы. Демонстрацию этого обнаруживает описание хрусталика и глазной оси.

Функциональная анатомия. В противоположность своим же предшествующим описаниям хрусталика, который он расценивал просто как *приплюснутый* или *в форме линзы*, здесь Альхазен приводит описание *двояковыпуклой* формы этого тела, основываясь на различии радиальных длин его передней и задней поверхностей. Он показывает, что передняя поверхность хрусталика является частью более плоской сферической поверхности, а задняя обладает большей кривизной. Альхазен полагал, что две поверхности хрусталика относятся к разным сферам, одна из которых больше другой (рис. 19.1).

Искривление передней части хрусталика, если бы оно продолжилось, окружило бы заднюю часть глаза и представляло бы собой округлость более протяженной сферы, заключающей в себе и хрусталик, и стекловидное тело. Такое аналитическое исследование является очевидным следствием предшествующего описания, в котором постулировалось, что хрусталик и стекловидное тело, если объединить их в одно тело, имеют сферическую форму. Это соответствует альхазеновской концепции увеальной сферы, представляющей всю зону глаза, расположенную сзади его радужной оболочки и содержащую хрусталик и стекловидное тело.

Радиальное искривление задней, более кривой, поверхности хрусталика продолжает переднюю поверхность роговицы. Меньшая сфера состоит из хрусталика и роговицы. Альхазен защищает это положение в описании вогнутой внутренней поверхности роговицы, пересекающейся с сосудистой оболочкой. Эту поверхность он считает выпуклым продолжением задней поверхности хрусталика, а радужную оболочку рассматривает как сферическую поверхность. Организованные таким образом сферы имеют пересечение с местом соединения ресничного тела и хрусталика. Их относительное положение обозначается при помощи разницы их радиусов, и центр наибольшей сферы находится внутри глазного яблока глубже, чем центр меньшей сферы. Это аналитическое описание отвечает предложенной автором геометрической модели глаза (рис. 19.2).

Альхазен также описывает эксцентрическое пересечение двух сфер разного размера, малой и большой, так как зоной их пересечения является хрусталик. Таким образом, речь больше не

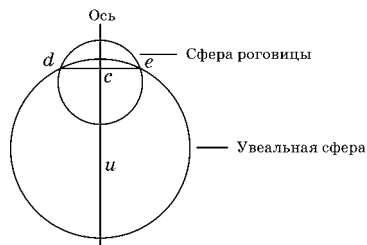


Рис. 19.1
Геометрия глаза по Альхазену.
Пересечение двух сфер
формирует тело хрусталика



Рис. 19.2
Схематическое изображение глаза
в сагиттальной проекции:
геометрия Альхазена показана пунктиром.

идет о концентрическом глазе, «слоистом, как луковица». Обе поверхности хрусталика описаны как сферические поверхности, которые пересекаются. Положение хрусталика недвусмысленно выдвинуто вперед по отношению к роговице. Центр глаза, естественно, оказывается позади хрусталика, внутри стекловидного тела, и становится центром более протяженной увеальной сферы. Такая геометрическая модель позволила Альхазену представить единую глазную ось, объединив различные центры обеих сфер прямой перпендикулярной линией к хорде пересечения двух сфер, разделив хорду на две части под прямым углом (см. рис. 19.1). Он перечисляет определительные признаки этой оси: она проходит через центр глазного яблока, центр зрачка и центр воронки оптического нерва. Ее функциональное определение автор обуславливает анатомическим описанием, согласно которому оптический нерв находится прямо напротив зрачка, вместо того чтобы быть слегка смещенным в сторону носа. Это описание ошибочно соединяло в линию центр заднего изгиба и центр оптического нерва. Альхазен, который при этом впервые точно описал геометрическую ось глаза, испытывал влияние анатомических гипотез последователей Галена.

Определение глазной оси является основным в его дальнейшем количественном подходе к формированию образов на основе так называемых корреспондирующих точек. По Альхазену, это оптическая ось, на которой отцентрированы все преломляющие среды глаза. Благодаря ей устанавливается соответствие между объектом и образом, топологическим положением каждой точки. Это соответствие поддерживается при движении по сходящимся направлениям (при котором оси обоих глаз сходятся в точке на поверхности объекта) и при сопряженном движении (при котором оси обоих глаз перемещаются вместе, когда взгляд переходит с одного объекта на другой).

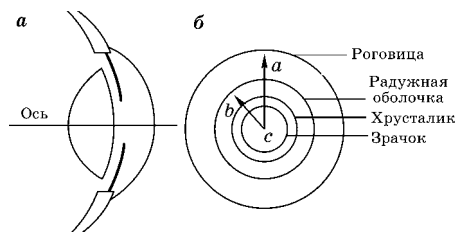


Рис. 19.3

Схематические изображения глаза в разных анатомических плоскостях: сагиттальный вид (а) и фронтальный вид (б).

Углубляя определение глазной оси, Альхазен часто меняет свои обозначения, переходя от сфер к поверхностям, рассматривая глаз как в продольной, так и во фронтальной проекциях (рис. 19.3).

Данное различие важно, так как в каждом случае описанные связи определяются в разных анатомических плоскостях. Когда Альхазен рассматривает глаз в продольной проекции, центры частей глаза выровнены вдоль сагиттальной оси (рис. 19.3а). Когда он сравнивает положения по отношению к этой оси таких частей, как роговица, радужная оболочка, зрачок и хрусталик, и настаивает на том обстоятельстве, что у них один и тот же центр, то рассматривает глаз во фронтальной плоскости (рис. 19.3б). В этом случае все центры, хотя они и расположены вдоль оси один за другим, оказываются в одной точке. Альхазен, например, пишет, что «хотя осевой отрезок в области роговицы длиннее, чем в области радужной оболочки, их центр остается общим». Из чего выводит, что «у них разные лучи, которые, по видимому, появляются из одного центра, расположенного на продольной оси глаза».

Именно тот факт, что невозможно было различить изменение перспективы на этих разных анатомических плоскостях, повлек за собой неправильную интерпретацию позиции Альхазена в вопросе об общем центре. Смещение сагиттальной и фронтальной плоскостей на одном уровне (наличие оси, проходящей через одну точку, и центров, расположенных в единой точке) дало повод к ошибочной концепции концентрического «глаза-луковицы», принятой в Средневековье, происхождение которой приписывается Альхазену. Западные последователи отца оптики не разобрались в особенностях его геометрической модели глаза, что негативно сказалось на дальнейшей истории развития представлений о формировании зрительных образов.

Альхазеновская трактовка анатомии глаза отличается объективным описанием частей глаза в соответствии с логической последовательностью. Этот великий ученый провел первый детальный анализ их связей в пространстве в функциональных терминах, фактически основав область физиологической оптики. Оригинальность его анатомического метода стала поводом для последующего разрыва с традиционным подходом. Метод был идеален в том, что касается геометрического описания, и соответствовал нуждам теоретической постановки вопроса. Функциональный анализ, представленный Альхазеном, полностью основывается на его описательной анатомии, которая более точна, чем анатомия, представленная в античных и средневековых медицинских текстах со времен Галена. Внимательно изучая пропорциональные отношения в строении хрусталика, Альхазен первым описал хрусталик как двояковыпуклую линзу и констатировал его положение со сдвигом вперед. Он указал на неравенство *прозрачностей* хрусталика и стекловидного тела, что обусловило преломление лучей на этой границе. Формализуя количественным образом свое описание, т. е. выражая его в пропорциональных терминах, Альхазен смог определить наличие в глазу оптической оси. Это показывает, до какой степени центральная аксиома его физиологической оптики была привязана к его анатомическим построениям.

19.2. ГЛАЗ И ПРОЕЦИРУЕМОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Предположения Альхазена относительно процесса зрительного восприятия были направлены на то, чтобы совместить представление о проекции изображения с анатомической структурой глаза [280], [339], [372]. При такой модели он столкнулся со значительными концептуальными и техническими трудностями. Нужно было обосновать наличие большого отверстия, зрачка и прозрачных поверхностей, преломляющих лучи. К тому же ученый должен был объяснить, как два изображения, по одному для каждого глаза, создают восприятие окружающих нас предметов как единого целого.

Проблема 1: диаметр зрачка. Опираясь на экспериментальный опыт, связанный с отверстиями, диаметр которых варьировался, Альхазен знал, что проекция изображения источника света в темной комнате (камере) зависит от размера отверстия и что только при минимальном его открытии можно получить четкое оптическое изображение (рис. 19.4). Уменьшение диаметра отверстия до минимального размера действовало как устройство *исключения*, фильтрующее многочисленные световые лучи от каждой точки поверх-

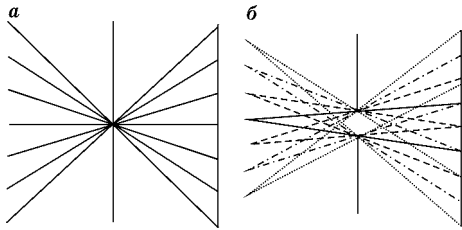


Рис. 19.4

Световая проекция сквозь точечное отверстие (а) и зрачок (б)

На рисунке *a* каждая точка поверхности предмета представлена одним лучом, в то время как на рисунке *б* каждая точка имеет множественное отображение.

На рисунке *a* каждая точка поверхности предмета представлена одним лучом, в то время как на рисунке *б* каждая точка имеет множественное отображение. Фильтровать многочисленные лучи, которые достигали его одновременно, следуя от каждой точки поверхности видимого объекта. Как же тогда сохранить полное соответствие изображения между глазом и предметом? Хотя Альхазен описал хрусталик как двояковыпуклое преломляющее тело, он не видел в нем линзы, способной осуществлять функции фокусировки в глазу. Вследствие этого предложенное им решение было выведено скорее на основе механических аналогий, чем с точки зрения рефракционной оптики.

Основываясь на экспериментальных наблюдениях, он пришел к заключению, что только воздействие перпендикулярных проекций на поверхности было бы достаточно мощным, чтобы они имели возможность проникнуть в глаз, в то время как наклонные проекции отклонялись в сторону. Чтобы объяснить феномен преломления при переходе из разреженной среды в более плотную, он использовал аналогию, взятую из механики: металлический шарик был брошен на тонкую грифельную доску, размещенную над широким отверстием в металлической пластине. Если шарик бросали перпендикулярно, он разбивал грифельную доску и проходил сквозь нее, в то время как при бросании под углом (при одинаковой силе и расстоянии) кидаящий не мог разбить доску. Благодаря своим наблюдениям Альхазен также знал, что прямой интенсивный поток света болезненно воспринимается глазом. Применяя аналогии, взятые из механики, при изучении воздействия световых лучей на глаз, он ассоциировал *сильные* световые потоки с перпендикулярными лучами, а *слабые* — с лучами, падающими под углом. Очевидный ответ на проблему множественности лучей по отношению к глазу находился в выборе перпендикулярного луча, поскольку мог быть только один луч этого типа, способный проникать в глаз, исходя от каждой точки поверхности предмета.

Проблема 2: принцип фильтра интенсивности. Настаивая лишь на лучах, которые перпендикулярны поверхности глаза, Альхазен исключил все наклонные лучи. Таким образом, от каждой точки поверхности предмета только один прямой луч проникает через оболочки глаза, и совокупность этих *индивидуальных* лучей сохраняет порядок, в котором находятся исходные точки, лежащие на поверхности предмета. Устанавливается точечное соответствие между видимым предметом и его изображением, формирующимся в глазу (корреспондирующие точки).

ности предмета и позволяющее проникнуть только одному лучу, создавая таким образом точечное соответствие (рис. 19.4а). В случае увеличения отверстия, когда каждая точка поверхности предмета имела множественное отображение, конфигурация лучей, как писал Альхазен, «основывалась на неразличимом пятне, и образ терялся» (рис. 19.4б).

С глазом у Альхазена возникала именно такая проблема: зрачок был слишком большим, чтобы фильтро-

То, что предлагал Альхазен, было фактически альтернативным способом фильтрации в глаз многочисленных лучей, исходящих от каждой точки поверхности предмета, чтобы в итоге получить один луч (в противовес явлению точечного отверстия или фокусировке хрусталиком).

Альхазен представил основные элементы этой гипотезы в функциональном анализе анатомии глаза. Его описание строения глаза, состоящего из двух шаровидных тел, зоной пересечения которых является хрусталик, определяло роговицу как сегмент малой сферы, а переднюю поверхность хрусталика — как сегмент большей сферы. Сагиттальная линия, проводимая через два сферических центра — малой сферы (роговицы) и увеальной сферы (сосудистой оболочки глаза), позволила ему дать точное определение оси, по которой были выровнены все преломляющие прозрачные поверхности и которая была перпендикулярна всем поверхностям глаза. Посредством данной оси соответствие между топологической позицией каждой точки поверхности предмета и поверхностью глаза могло в таком случае быть определено и сохранено.

Альхазен дает строго аргументированное доказательство, основные этапы которого ясно различимы. Во-первых, «природа зрения заключается в том, чтобы получить то, что к нему приходит в форме видимых предметов (то есть свет и цвет), и получить только эти формы, которые достигают его, следуя определенным линиям». Во-вторых, «было также доказано, что форма каждой точки на поверхности видимого предмета достигает глаза, который находится напротив этого предмета, следуя многочисленным различным прямыми линиями». В-третьих, «глаз не может воспринимать форму предмета в том виде, в котором она находится на поверхности предмета, если только глаз не получает эти формы по прямым линиям, которые перпендикулярны поверхности глаза и органу восприятия (то есть хрусталику)». И наконец, «было обнаружено, что прямые линии не могут быть перпендикулярны этим двум поверхностям, если только их центры не образованы лишь одной общей точкой». Здесь Альхазен делает ссылку на фронтальную проекцию глаза, где два центра сфер — центр поверхности роговицы и центр хрусталика — совпадают в одной точке, т. е. на оси. Вследствие этого «глаз не получает никаких форм, которые к нему поступают, если они не следуют вдоль прямых линий, представляемых между видимым предметом и центром глаза и перпендикулярных всем поверхностям и оболочкам глаза». Причина выбора перпендикулярных лучей также ясно сформулирована: «Но воздействие световых потоков, которые достигают глаза по этим перпендикулярным лучам, более сильное, чем воздействие световых потоков, которые поступают по наклонным линиям. Вследствие этого является точным, что хрусталик воспринимает в каждой точке своей поверхности форму предмета, которая приходит в эту точку вдоль перпендикулярных линий, не воспринимая в этой той же самой точке форму предмета, которая придет вдоль преломленных линий». Таким образом, основной функцией хрусталика является обеспечение точечного соответствия. В исключении падающих лучей, имеющих более слабое воздействие, заключается основной зрительный принцип Альхазена — *принцип естественного фильтра интенсивности*, который он вывел, применяя понятия механического воздействия.

Проблема 3: чувствительность хрусталика. Наблюдения за влиянием интенсивных световых лучей на глаз человека не только привели Альхазена к принципу фильтра интенсивности, но и позволили объяснять визуальные ощущения как опыт, аналогичный восприятию боли. Он неоднократно повторял, что интенсивный свет вызывает болевые ощущения в глазу, а «другие типы световых лучей», меньшие по интенсивности, могут делать глаз менее чувствительным к свету. Для Альхазена хрусталик, при том что он «подобен стеклу» или имеет структуру кристалла, есть прозрачное тело, которое позволяет световому лучу проникать в него в соответствии с оптическими принципами. В то же время, считает Альхазен, хрусталик имеет достаточную плотность, позволяющую долго удерживать свет, для того чтобы произошла констатация светового ощущения. Следовательно, хрусталик кардинально отличается от других прозрачных сред, которые лишь осуществляют передачу света, не будучи для этого предназначены.

Альхазен ассоциировал влияние света на хрусталик со всем спектром ощущений органов чувственного восприятия, от сильной боли до «приятного удовлетворения». Конкретное ощущение зависело от количества поступающего света, и функцией хрусталика была передача информации об интенсивности и воздействии света. Внимание, которое автор уделял важности функций сосудистой и радужной оболочек глаза, лишь подтверждает эту точку зрения. По мнению Альхазена, эти две оболочки создают темное и непрозрачное пространство внутри увеальной сферы глаза, темную камеру, где даже самый слабый свет может быть различим.

Проблема 4: инверсия проецируемого изображения. Вопрос об инверсии зрительных образов после их прохождения через малое отверстие подробно обсуждается Альхазеном в описании опытов с лампой, свет от которой проходит через малое отверстие. Это были фактически исследования с помощью камеры-обскуры, которые он представлял как концептуальную модель проекции визуальных изображений в корреспондирующие точки. Но проведенное исследование эмпирически доказывало, что такие проекции неизбежно перевернуты, принимая во внимание пересечение световых лучей, проходящих через маленькое отверстие. Это означало, что, применяя данную модель к восприятию глазом, Альхазену следовало совместить полную инверсию изображения (горизонтальную и вертикальную) с достоверным восприятием окружающего мира и неперевернутыми образами видимой стороны вещей.

19.3. ОПТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ГЛАЗА

Описание Альхазена, согласно которому глаз представляется в виде двух сегментов пересекающихся сфер, является основным в его объяснении проекции изображений внутри глаза [315]. Рассматривая лучи, которые передают корреспондирующие точки, он настаивал на том, что они должны быть одновременно перпендикулярными поверхности роговицы и поверхности хрусталика. Он также установил их траекторию вместе с радиальными линиями, идущими от центра глаза во фронтальной проекции. Аргументы, приводимые в подтверждение данного им определения этих лучей, становятся понятными при рассмотрении по отдельности центров каждой из сфер, формирующих зону пересечения.

Запутанность заключений Альхазена может быть объяснена при восстановлении этапов, во время которых формировалась его теория проекции изображений в глазу (рис. 19.5).

Вот основные особенности его оптической модели глаза при рассмотрении в сагиттальной плоскости.

1. Луч, перпендикулярный роговице (на радиальной оси по отношению к центру ее сферы), будет падающим по отношению к передней поверхности хрусталика (рис. 19.5а). Являясь наклонным лучом, он слаб, чтобы пройти сквозь хрусталик и сформировать изображение.

2. Луч, перпендикулярный поверхности хрусталика (на радиальном луче по отношению к центру увеальной сферы), будет наклонным по отношению к роговице (рис. 19.5б), т. е. слишком слабым, чтобы проникнуть в глаз.

3. Для того чтобы сформировать изображение, лучу необходимо быть перпендикулярным одновременно к поверхности роговицы и хрусталика. Это могло бы быть воспроизведено только одним способом: через преломление (рис. 19.5в). Луч света, который падает под прямым углом к поверхности роговицы (радиальный к центру малой сферы), преломляется на передней поверхности хрусталика под прямым углом с тем, чтобы затем пройти через второй радиальный центр — увеальной сферы.

4. Хотя лучи света являются таким образом перпендикулярными к двум поверхностям, когда они проходят через центр увеальной сферы глаза, они должны расходиться и формировать перевернутое изображение в глубине глаза.

5. Поскольку инвертированное изображение противоречит восприятию мира, это изображение не может быть истинным или соответствующим реальности. Альхазен выдвигает идею вторичной рефракции на задней поверхности хрусталика. Принимая во внимание разницу в оптической плотности хрусталика и стекловидного тела глаза, это преломление должно происходить по направлению к нормали, с тем чтобы не допустить пересечения лучей в центре (рис. 19.5г). Таким образом, чтобы сохранить вертикальную ориентацию изображения в глубине глаза, Альхазену пришлось предположить, что стекловидное тело плотнее хрусталика.

6. Сохраняя тем самым соответствующий порядок точек и свою вертикальную ориентацию, образ световых лучей проецируется на полость полового оптического нерва и ведет к перекресту зрительных нервов или общему нерву.

Итак, Альхазен предложил элегантное (хотя и неверное) решение проблемы формирования изображений на сетчатке, совмещая принципы оптики и анатомии. Хотя эти предположения в конце концов оказались ошибочными, тем не менее отцу оптики впервые удалось объяснить принцип действия диоптрического механизма, лежащего в основе функций различных частей глаза.

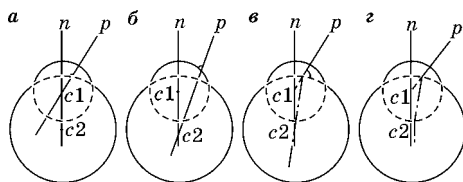


Рис. 19.5
Формирование изображений в глазу по Альхазену.
Ход перпендикулярных и преломленных лучей.
 n — нормаль, p — перпендикуляр

Рефракция: расширение принципа фильтра. Заметим, что Альхазен не отстаивал непримиримо свою теоретическую позицию, касающуюся формирования изображения в глазу. Напротив, он непрерывно развивал собственные гипотезы по мере того, как его знания в области оптики становились все глубже. Когда он опытным путем открыл, что падающие световые лучи могут переносить визуальную информацию к глазу, то изменил эту позицию. Он отметил, например, что маленький предмет — иголка или карандаш — может быть различим, даже когда его держат на отдаленном расстоянии от глаза сбоку на уровне виска, а другой глаз при этом закрыт. Поскольку в этом случае никакая перпендикулярная линия не могла бы быть проведена между точечным предметом и глазом, то такой предмет может быть виден только при преломлении. Далее, маленький предмет (иголка), который держат около одного глаза, в то время как другой глаз закрыт, не скрывает точечного предмета, расположенного прямо позади него на той же линии (оси), идущей из центра глаза. Поскольку точечный предмет может быть виден только по наклонному лучу, этот луч должен быть обязательно преломлен на поверхности глаза. Альхазен также заметил, что иголка казалась более широкой и прозрачной, позволяя видеть за ее пределами. Тоненькие метки, начерченные на стене, были прекрасно различимы и не были скрыты иголкой, когда она находилась рядом с глазом. Исходя из таких наблюдений, Альхазен пришел к заключению, что единственный способ восприятия видимых объектов возможен через преломление, в полной мере осознавая, что до него это никогда не было ни замечено, ни объяснено.

Один из центральных постулатов, выдвинутых им в седьмой книге «Сокровища оптики», — «мы видим вследствие преломления лучей света» — можно рассматривать как уникальный, принципиально новый вклад в науку. Казалось бы, данный постулат противоречит тому факту, что Альхазен полностью исключил преломленные лучи в первой книге трактата, посвященной механизму зрения. В действительности речь идет о значительном развитии его принципа фильтрации световых лучей на основе перпендикулярных лучей. Продолжая включать преломление лучей в гипотезу о формировании изображения, Альхазен не оставлял свой принцип фильтра интенсивности световых лучей. Им было установлено, что оптическая система глаза могла фильтровать (пропускать) многочисленные лучи, исходящие от каждой точки поверхности предмета, только на основе перпендикулярных линий. Таким образом, чтобы иметь возможность сохранить точечное соответствие предмета его изображению, он вновь рассматривал в качестве *эффективных* лишь те лучи, которые преломлялись под прямым углом, и исключал все другие падающие лучи. Преломление под прямым углом на передней поверхности роговицы и хрусталика было точно описано по отношению к центрам их сферических поверхностей (см. рис. 19.5в). Вследствие этого лучи воспринимались так, как если бы они следовали в направлении радиальных линий, идущих из центра фронтальной проекции глаза.

Гипотезы, которые выдвигал Альхазен, не противоречили друг другу. Это был переход от начальной позиции, предполагающей абсолютную идентичность, когда лишь перпендикулярные, прямые лучи света рассматривались как имеющие эффект воздействия, к позиции, предполагающей относи-

тельную идентичность, при которой подключаются уже наклонно падающие лучи или, более точно, те лучи, которые прошли преломление относительно перпендикулярной линии. Объединяющим фактором в этих двух гипотезах, касающихся корреспондирующих точек, являются поступающие под прямым углом лучи света. Тот факт, что Альхазен включил в свою гипотезу понятие преломления, все-таки является важным шагом в переходе от решения проблемы проецирования изображения с точки зрения механики к ее решению с точки зрения оптических законов.

Диплопия: удвоение изображения и единство на основе визуального опыта. Необходимость учитывать субъективный опыт, касающийся единства восприятия двумя глазами, занимает центральное место во всех попытках Альхазена объяснить механизм зрительного восприятия с физиологической точки зрения. Проблема заключалась в следующем: как происходит, что мы воспринимаем единый образ, хотя использование человеком двух глаз должно приводить к двойному изображению или удвоению изображения? Найденное Альхазеном решение проблемы основывается на точном и качественном эквиваленте чувственной информации, поступающей от каждого глаза. Каждое изображение, сохраняя свою пространственную организацию, проходит по каналу оптического нерва, чтобы затем по общему нерву достичь передних отделов головного мозга. Дискуссия, предлагаемая автором по поводу скорости передачи зрительных образов, которую невозможно ощутить и с которой сенсорный образ достигает зоны хиазма, наводит на аналогию с передачей света в «камере с лучами». Альхазен пишет: «Оно (изображение) проходит по каналу общего нерва таким же образом, каким свет сквозь окна и отверстия поступает на поверхности, расположенные напротив этих отверстий». Ниже он описывает точечную, полную проекцию и суперпозицию двух изображений, поступающих от глаз. Четкие сенсорные очертания за счет равенства скоростей комбинировались в общем нерве и «если они превосходно дополняли друг друга, то сливались в одно целое».

Движение глаз играло для Альхазена основную роль в вопросах слияния или суперпозиции при бинокулярной интеграции. Горизонтальные движения глаз, равнозначные и конвергентные, необходимы, чтобы поддерживать соответствие изображения в каждом глазу. Сопряженные движения глаз, возникающие, когда взгляд переходит от одного объекта к другому или даже от одной части объекта к другой, имеют одинаковую функцию. Например, когда наблюдатель смотрит на видимый предмет, нацеливая зрачок в его направлении, оси двух глаз сходятся в какой-то одной точке его поверхности; когда наблюдатель поднимает глаза выше предмета, на который смотрит, две оси направляются совместно выше всех частей его поверхности. Невозможно направить один глаз на видимый в данный момент предмет, а другой оставить в состоянии покоя, если только не прилагать к этому особых усилий.

Диплопия, или удвоенное видение, возникает в тот момент, когда два изображения не выстроены в одну линию в пространстве, т. е. когда наблюдатель фиксирует взгляд на предмете одним глазом, прищуривая другой. Два образа не располагаются на одном и том же топологическом уровне из-за смещения двух изображений в глазу; никакое слияние не может произойти

в зоне хиазма, что вызывает удвоенное изображение. По-видимому, Альхазен не использовал критерий несогласованности *идентичных* изображений в каждом глазу, их различные ракурсы зрения для объяснения стереопсиса или восприятия глубины.

19.4. МЕХАНИЗМ ЗРЕНИЯ ПО АЛЬХАЗЕНУ. ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА И ЗРЕНИЯ

Альхазен рассматривал свой труд «Сокровище оптики» как критический ответ на «Оптику» Птолемея, которая создавалась примерно девятью столетиями ранее [343]. В частности, он изменил центральную гипотезу своего предшественника об испускании глазом зрительных флюксий, которые распространяются из точки зрачка радиальной связкой в форме конуса. У Птолемея лучи внутри конуса являются аналогами пальцев, которые простираются до внешних объектов и приводят нас в состояние *визуального контакта*. Информация, собираемая этими лучами, отсылается назад по тому же конусу в форме цветовых восприятий. Они являются субъектом визуального наблюдения после достижения внешней оболочки глаза. Именно из них мы получаем внутреннюю картину представленных ими объектов. Но для чего нужна эта радиация из глаз, когда, по мнению Альхазена, для видения объектов вполне достаточно того, чтобы они излучали что-либо в глаз? Отвергнув зрительные лучи и весь птолемеевский экстрамиссионизм, Альхазен переформулировал теории визуальных восприятий на основе интрамиссии.

Чтобы понять, в чем суть единой теории Альхазена, снова обратимся к его взглядам на свет и цвет [342]. Он начинает с рассуждений о свете как о реальном и неотъемлемом качестве любого самосветящегося тела или объекта, освещенного снаружи. Поверхность объекта рассматривается как композиция бесконечно большого количества точечных источников, от каждого из которых свет распространяется во все стороны. Его распространение описано Альхазеном в терминах повторения: каждый точечный источник создает формальные представления себя самого в любых непрерывных прозрачных средах, таких как воздух. Внутри каждой такой полусферы излучения радиусы представляются им как прямолинейные траектории, вдоль которых точечные формы света могут передаваться наружу из центра. Прозрачность — это то, что позволяет световым формам проходить сквозь, пронизывать определенный объект беспрепятственно. Матовость и непроницаемость мешают такому проникновению и захватывают световые формы определенных объектов, достигающих такой среды. Это задержание форм становится очевидным на поверхностях освещенных предметов. Такие объекты, однажды освещенные, становятся в свою очередь источниками световой радиации. Далее Альхазен переходит к функциям второй важнейшей характеристики излучения — цвету. Все непрозрачные объекты, как утверждал еще Аристотель, необходимо обладают цветом, и внешний свет «натурально соответствующим образом» смешивается с цветом тела. Чистый свет для Альхазена и его средневековых последователей — скорее, теоретическая абстракция. Свойственная ему функция не может быть увидена, т. е. она недоступна для зрения; видимым свет делает только его дублирующая ипостась — цвет.

Теперь можно вернуться к строению глаза. Как представлялось Альхазену, все видимые вещи под действием освещения направляют к глазу свой цвет, и далее все зависит от того, как спроектирована оптическая система глаза для восприятия и распознавания цвета. В понимании Альхазена, чьи взгляды формировались под влиянием переведенных работ Галена, глаз состоит из двух находящихся в одномместилище, но эксцентричных сфер. Как показано на рисунке 19.6, внешняя сфера с центром в точке *A* обнимается тканями склеры. Роговица впереди есть прозрачное продолжение этой сферы. Внутренняя сфера, центрированная в точке *B*, окаймляется увеальной оболочкой, и ее передний фронт лежит в округлой апертуре, формирующей зрачок. Увеальная сфера содержит три прозрачные среды различной оптической плотности. Самой последней и наиболее оптически плотной из всех трех сред является стекловидное тело. Перед ним лежит ледяное тело (хрусталик), а самой первой из трех является камера до хрусталика. Граница раздела между двумя последними формирует выпуклую сферическую секцию, concentричную глазу как единому целому вместе с роговицей. Граница между стекловидным телом и хрусталиком есть вогнутая сфера. Вместе эти границы, определенные паутиной мембраной, придают хрусталику форму двояковыпуклой линзы.

Обе сферы — склеры и увеи — имеют небольшое открытие, расположенное вдоль направления *AB*, через которое и проходит зрительная ось. Продолжая ее назад, мы входим в полый оптический нерв, входное отверстие которого сформировано теми же оболочками. Выходя из глазных яблок, оба нерва соединяются в хиазме и после разделения продолжают свои пути к соответствующим полушариям головного мозга, как показано на рисунке 19.7. Каждый нерв достигает трех последовательных ячеек, или желудочков (*лат. ventriculi*), наполненных жизненным духом, который есть дистиллят из пневматизированной крови, проходящей из левого желудочка сердца через сонную артерию в основание мозга. Рассматриваемый в качестве среды для всех чувствительных, воспринимающих и интеллектуальных функций, жизненный дух через оптические нервы пронизывает, питает весь оптический комплекс от границ

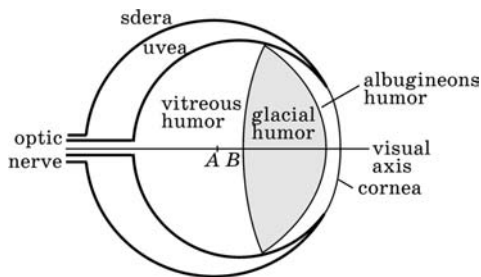


Рис. 19.6

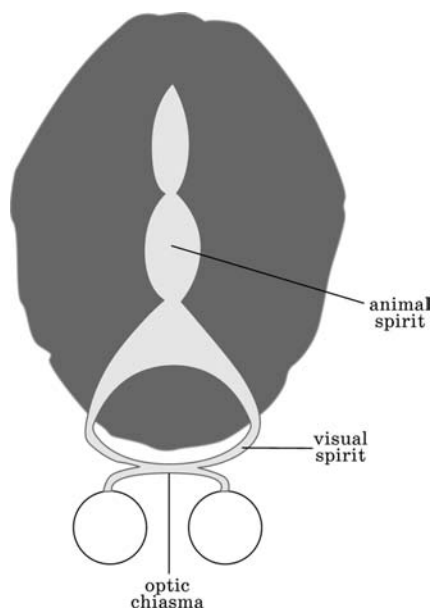


Рис. 19.7

мозга до хрусталика. Здесь он принимает специфическую форму зрительного духа, который особенно чувствителен к зрительным стимулам. Таким образом, пронизанный чувствительностью хрусталик, по Альхазену, оказывается подготовленным к восприятию физических световых и цветовых образов вдоль зрительного пути. Эта анатомическая и физиологическая модель, галеновская в своей основе, во множестве своих составляющих (например, в вентрикулярной структуре мозга и в подготовке жизненного духа) не была детально рассмотрена Альхазеном. (Позднее Бэкон соединил галеновскую модель мозга с процессом видения по Альхазену.)

Разместим светящийся объект на позиции BCD , как показано на рисунке 19.8, прямо напротив глаза. В соответствии со взглядами Альхазена, каждая точка поверхности объекта излучает свою форму через любую лицевую точку роговицы к внешней поверхности ледяного тела (рис. 19.8а). Так, точка D на поверхности светящегося объекта посылает свои формы через роговицу к отдельным точкам, таким как E , F и G , на внешней поверхности хрусталика. Точно так же любая точка поверхности объекта будет излучать свои формы через роговицу к любой точке внешней поверхности хрусталика. Например, точки B , C и D все посылают излучение в точку E .

Чтобы объяснить, как связанное визуальное восприятие просеивается через этот хаос наслаивающихся форм, Альхазен обращается к преломляющим и чувствительным свойствам хрусталика. Во-первых, запечатленные, отпечатанные цветовые формы должны излучаться через преломляющую поверхность между камерой до хрусталика и им самим. Среди всех таких форм только те, которые достигают этой границы ортогонально, т. е. перпендикулярно, — BE , CA и DF (рис. 19.8б) — проходят без преломлений. Остальные, чьи направления представлены как DE или CF , должны отклоняться и не приниматься во внимание. Во-вторых, по аналогии со снарядом или пулей, формы освещенного цвета наиболее сильны тогда, когда ударяют в поверхность по нормали. Чем более наклонно они падают, тем более скользким получается столкновение. Будучи наиболее сильными и, следовательно, более остро воздействующими на хрусталик, только ортогональные отпечатки и оказываются им воспринимаемыми. Остальные просто игнорируются. Итак, в основании чувствительности хрусталика лежит его способность абстрагироваться от любых форм, кроме когерентных, связанных визуальных представлений или образов (изображений), например показанных как $B'C'$ на рисунке 19.8в. Именно они воспроизводят *точка в точку* рассматриваемый объект BC . В связи со своей преломляющей способностью хрусталик в то же время позволяет любой точке абстрагированного образа распространяться прямо к центру глаза. Поле эффективного зрения, таким образом, определяется конусом видимости с основанием на объекте BC и вершиной в

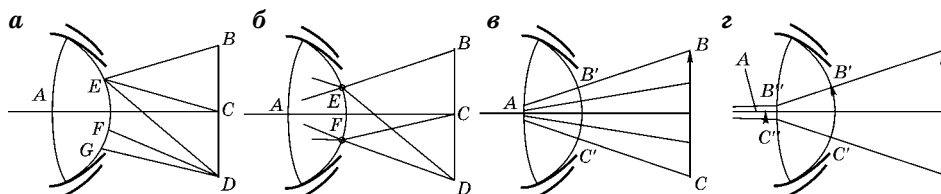


Рис. 19.8

центре глаза *A*. Определяя зрительный центр, эта точка выполняет роль конечной референтной точки для всего геометрического анализа зрения внутри конуса видимости. На этом основании мы и оцениваем расстояние до объекта. Понимая, насколько далеко он расположен от центра зрения, мы распознаем его размер в соответствии с корреляцией воспринимаемого расстояния и зрительного угла, который стягивается к центру зрения.

Если все точечные формы просеиваются хрусталиком и остаются только те, которые падают на него по нормали, то тогда все лучи должны пересечься в центре *A* и продолжаться за него перевернутыми. Результирующий образ должен в этом случае оказаться *вверх ногами*. Но по пути он встречает преломляющую поверхность между хрусталиком и стекловидным телом еще до достижения точки *A*. Лучи отклоняются к нормали, поскольку в соответствии с моделью Альхазена проходят из менее плотного хрусталика в более плотное стекловидное тело. В этом случае изображение *B''C''* на рисунке 19.8*г*, сформированное этими отклоненными лучами, канализируется прямо в полый оптический нерв в задней части глаза. В этой точке образы достаточно уменьшены, чтобы пройти в узкое отверстие и «конвоироваться» нужным образом (прямыми, неперевернутыми) через зрительный дух, наполняющий нерв. И когда они наконец достигнут точки оптического хиазма, то будут соединены со своими напарниками из другого глаза. Эти соединенные образы и есть то, что мы обычно видим при бинокулярном зрении.

Если это так, то зрительный образ, профильтрованный хрусталиком и направленный в оптический нерв, есть намеренное, умышленное и потому субъективное представление сгенерировавшего этот образ объекта. Поэтому зрительный образ выражает видимую природу представляемого объекта, и в это представление входит масса параметров, которых в объекте на самом деле нет, поскольку он состоит не более чем из цветов, становящихся видимыми благодаря чувствительности хрусталика. По подсчетам Альхазена, существуют 20 скрытых *стремлений*, упорядоченных по размеру, форме и пространственному расположению, вещественности, прозрачности или матовости и даже красоте или уродству. Человек *реализует* эти стремления через подчинение визуальных образов в оптическом хиазме воспринимающей (наблюдательной) способности и способности к выработке суждений. Этот процесс, силлогический по своей природе, происходит в мозгу с помощью оконечной распознавательной способности и сам по себе закрепляет порядок сравнения и корреляции умышленных признаков. В результате возникает репрезентация объекта в соответствии с полным порядком его физических свойств, из тех, которые могут быть визуально восприняты. Пространственные характеристики, такие как расстояние и размер, определяются чувственно по отношению к центру зрения в вершине зрительного конуса. От чувственных представлений, возникающих таким образом, мы абстрагируемся на более высоком уровне концептуальных представлений объектов особенного или обычного сортов. В конечном итоге мы различаем в видимом определенный объект конкретных размеров и формы, находящийся на данной дистанции.

Из сказанного следует, что Альхазен и его средневековые последователи рассматривали зрение вовсе не как простой акт, но как комплексный процесс, разбитый на стадии — от физической радиации через грубое чувствование

к восприятию и распознаванию. Каждый этап отмечен формированием *частично умышленного* представления, которое есть виртуальное подобие того же сорта, как живописная картина есть виртуальное подобие того, что на ней представлено. Этот процесс иллюстрируется рисунком 19.9, где внизу обозначены светящиеся или освещенные цветоформы, передающиеся через воздух (физические представления). Физически направляясь к глазу, цветоформы порождают в оптическом комплексе зрительное представление, или образ. Этот образ есть виртуальное подобие объекта на уровне чистого чувствования. Проходя через наполненный духом оптический комплекс, визуальные представления становятся более абстрактными, смутными, но осознанными. Они, наконец, реализуются в жизненном духе мозга, где из них и возникают суждения (концептуальные представления).



Актуальная средневековая иллюстрация только что изложенной модели перцепции из трактата «Жемчужина философии» (1503) представлена на рисунке 19.10. Полоса в верхней части головы показывает три мозговых желудочка в разрезе. Две чувственные связи первого желудочка надписаны и специфично показаны линиями, идущими от языка (вкус, *gusta*) и носа (обоняние, *olfacta*). Еще две — от глаза и уха (зрение и слух) — показаны линиями, но не подписаны. На рисунке отсутствует связь, соответствующая тактильным ощущениям (осязанию). Передняя доля первого желудочка, где сходятся все чувственные связи, посвящена грубым (животным) ощущениям и соответственно обозначена как общее чувство (*sensus communis*) и представлена как очищенный, первичный участок для всех чувственных данных, включая зрительные. Его же задняя доля посвящена восприятиям (*perceptia*), которые осуществляются через способность перцептивных представлений, воображений, обозначенную как *imaginativa*, и способность перцептивных ассоциаций, обозначенную как *fantasia*. Следующий желудочек, который соединен с первым каналом, обозначенным как *vermis*, содержит концептуальную или когнитивную способность, включающую в себя суждение (*estimativa*) и познание (*cogitativa*). Эта последняя способность выражает (абстрагирует) то, что после Альхазена стало называться концептуальными представлениями первичных восприятий, проникающих во второй желудочек через *vermis*. Наконец, последний, третий желудочек есть место, где концептуальные представления, абстрагированные познанием, передаются в долговременное хранилище благодаря запоминающей способности, обозначенной как *memorativa*. Шаг за шагом, от самого начала до конца, зрительный процесс разворачивается в непрерывную последовательность репликаций, каждая из которых представляет объект на все более абстрактном уровне. Физическая, анатомическая и физиологическая структура зрительной системы отчетливо спроектирована для поддержки этой последовательности. Именно так, по Альхазену, зрительный процесс обеспечивает нас верной, истинной, но субъективной картиной объективной реальности [337], [339].

Все это говорит о том, что оптика Альхазена была посвящена видению, тому, как вещи воспринимаются с некоторой частной точки зрения — из зрительного центра в вершине зрительного конуса. Идеально, когда освещение правильное, оптическая система здорова и объект достаточно близок к наблюдателю. Тогда видение соответствует реальности. Но вещи не всегда таковы, какими воспринимаются. Это особенно наглядно в случаях отражений или преломлений, когда объекты показываются за зеркалом, хотя объек-

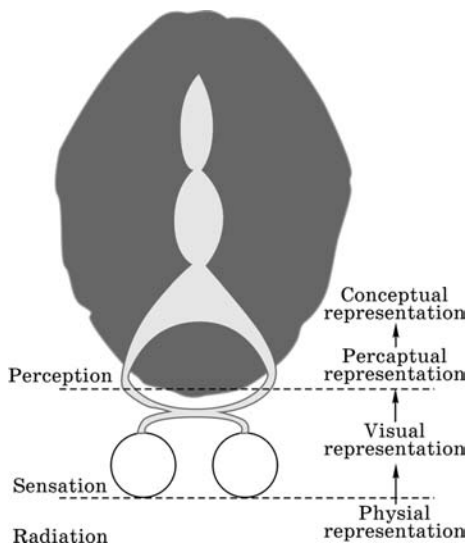


Рис. 19.9

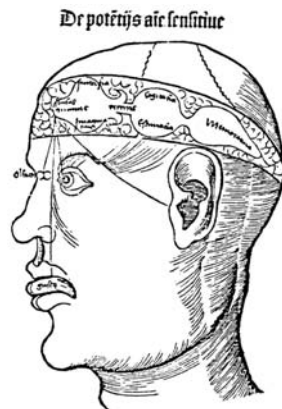


Рис. 19.10

тивно расположены перед ним. В выпуклых зеркалах они кажутся не только расположенными за их поверхностями, но еще и уменьшены и изогнуты относительно самих себя. В вогнутых зеркалах возникает широкий спектр искажений, включая смещение месторасположения, изменение размера и ориентации. В бочке с водой объекты кажутся ближе и больше. Все это примеры претерпеваний — искажений или иллюзий. Раз так, они представляют аномалии, которые требуют исправлений, корректировок, и анализ лучей дает такую возможность. Он позволяет нам объяснять эти искажения или иллюзии с помощью ключевых управляющих принципов, таких как закон прямолинейности лучей, равенство углов отражения, правило катетов для локализации изображений и т. п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптические трактаты Средневековья демонстрировали высочайший уровень математической культуры арабских и латинских авторов. Даже если предположить, что создавать такие доказательства могли лишь единицы, а понимать — десятки или сотни, то и в этом случае следует как минимум скорректировать миф о темном и необразованном тысячелетии Средних веков.

В катоптрике была практически строго решена знаменитая задача о нахождении блестящих точек на произвольных сферических зеркалах. И хотя Альхазен, в отличие от исследовавшего ту же проблему в XVII в. Гюйгенса, подходил к задаче по частям, сам его метод нахождения искомой гиперболы был математически безупречным. Решение Гюйгенса было, бесспорно, более общим и экономным, но и рассуждения Альхазена представляли собой правильное «приложение усилий» математических доказательств. В этом ключе пример данной задачи показывает, насколько искажаются во многих современных источниках оптические знания Средневековья. Но если учесть, что ученых разделяют более 600 лет и пропасть между ранним Средневековьем и началом эпохи Просвещения, то следует признать приоритет отца оптики не только в формулировании задачи, носящей его имя, но и в ее решении.

Начиная с Альхазена и заканчивая Вителло, геометрические законы отражения обсуждались по аналогии с динамикой броска и удара. Для иллюстрации акцидентного поведения отраженного света впервые был сформулирован «критический» эксперимент. Речь идет об образе стрелы со сферическим наконечником, направляемой на зеркало под различными углами. Именно с тех пор стрела стала неизменным оптическим атрибутом, который до сих пор используется в иллюстрациях.

Также впервые было предложено разделять движение наклонного луча на компоненты, перпендикулярные и параллельные поверхности зеркала. Причиной того, что углы падения и отражения одинаковы, признавалось сохранение «первоначальной силы и природы движения» для обеих компонент отраженного луча. Таким образом, в анализе отражения света средневековые оптики применили геометрические построения, которые затем использовали многие поколения ученых, включая Рене Декарта и Исаака Ньютона [318].

Не был забыт и античный принцип минимальной длины тех лучей (у Герона — зрительных), которые отражаются от зеркала под равными углами. Поскольку идея минимальности природных усилий постулировалась как естественное свойство окружающего мира, и сам закон отражения трактовался в Средние века как следствие этого свойства. Напомним слова Роджера Бэкона: «Естественная сила, генерирующая [зримые] образы, испытывает сильное желание двигаться более легким путем и выбирает его». Что это, как не частный пример общего принципа минимального действия, громко провозглашенного физикой только после Ньютона?

Диоптрическая часть средневековой оптики, как, собственно, и античной, была разработана много хуже катоптрической. И не только потому, что закон преломления математически сложнее закона отражения. Дело в том,

что свойства бронзовых зеркал различной формы (плоских, выпуклых или вогнутых) изучались еще со времен Евклида и Герона, а прикладное значение преломляющих элементов (линзоподобных или призматических) начало осознаваться только в конце Средних веков, с изобретением очков.

Недавние открытия в области средневековой арабской оптики позволяют по-новому взглянуть на эту страницу истории развития оптического знания. Мнение о том, что Ибн Зал почти за 700 лет до Декарта и Снеллиуса открыл закон преломления, представляется обоснованным. Ибн Зал обратился к количественному преломлению в линзах и сформировал целую область исследований, посвященных диоптрическим орудиям, вызывающим воспламенение. Рассуждая о гиперболы как «основной кривой диоптрики», он естественным образом пришел к открытию закона преломления. Именно с этих пор диоптрика стала разделом оптики, связанным с распространением света, независимо от проблем видения.

Нельзя не вспомнить и прозорливые слова Роджера Бэкона о том, что зрительные образы двигаются заметно быстрее в разреженной среде, чем в плотной, ввиду «огромного сопротивления, обусловленного несовершенствами таких сред». Здесь впервые встречается прямое указание на временные параметры движения образов, хотя в этот период еще не было самого термина «скорость», обоснованием которого начали заниматься только в эпоху Ренессанса. Бэкон явно опережал свое время, тем более что им было дано абсолютно верное соотношение: в менее плотной среде образы движутся быстрее.

Именно Средние века оказались временем рождения первой внутренне непротиворечивой геометро-оптической модели глаза. Выявленные в поздней Античности физиологические особенности строения глазного яблока (по Галену) были существенно дополнены представителями блестящей исламской медицины. Но одно лишь анатомическое описание глазных туник и сред, даже самое полное, не могло удовлетворить средневековых перспективистов. Ими была разработана и обоснована геометрическая модель глаза на основе сочетания концентрических и эксцентрических сфер, последовательные преломления в которых должны были позволить внешним зрительным образам без переверотов проникнуть в оптический нерв, а затем и в передние отделы «чувствительной души».

Несмотря на очевидные для нас сегодня заблуждения средневековых ученых, сама идея соединения оптического знания (геометрии преломлений) с медицинским оказалась чрезвычайно продуктивной. Да, они неверно определили плотность стекловидного тела большей, нежели у хрусталика. Да, они игнорировали роль сетчатки, считая переднюю поверхность хрусталика местом восприятия зримых образов. Да, проводя эксперименты с камерой-обскурой, они были в шаге от понимания полной аналогии формирования зримых перевернутых образов, но не сделали этого шага. И много других ошибок совершили даже самые сведущие в физиологии глаза средневековые мыслители. Но не будем забывать, что жили они в эпоху, когда даже подумать об опытах с любыми частями тела (живого или мертвого) было смертельно опасно. Еще не появились даже начала той научной методологии, которая через классификационное разделение и аналитическое обобщение

могла бы соединить эмпирические наблюдения с теоретическими концепциями. И тем не менее они создали просуществовавшую вплоть до XVII в. первую модель глаза, которая объединила абстрактные геометрические построения математиков с реальным опытом практикующих врачей.

Глаз описывался как эксцентрическое пересечение двух сфер разного размера, малой и большой, зоной пересечения которых является хрусталик. Таким образом, речь больше не шла о концентрическом глазе, «слоистом, как луковица». Положение хрусталика выдвинуто вперед по отношению к роговице. Центр глаза, естественно, оказывается позади хрусталика, внутри стекловидного тела, и становится центром более протяженной увеальной сферы. Такая геометрическая модель позволила представить единую глазную ось, объединив различные центры обеих сфер прямой. Определение глазной оси является основным в дальнейшем количественном подходе к формированию образов на основе так называемых корреспондирующих точек.

Функциональный анализ механизма зрения, представленный Альхазеном, полностью основывался на описательной анатомии, которая была более точна, чем анатомия, представленная в античных медицинских текстах со времен Галена. Альхазен первым описал хрусталик как двояковыпуклую линзу и констатировал его положение со сдвигом вперед. Он указал на неравенство прозрачностей хрусталика и стекловидного тела, что обусловило преломление лучей на этой границе. Основной функцией хрусталика признавалось обеспечение точечного соответствия предметов и их образов, а исключение наклонных лучей придало ему свойства естественного фильтра интенсивности, который признавался всеми оптиками вплоть до середины XVII в.

Средневековыми перспективистами во всех подробностях был описан путь внешних световых образов от их отпечатывания на хрусталике через распознавание и осознание в «передних отделах души» к запоминанию и хранению в ее оконечной части. И надо сказать, что, читая эти тексты, иногда не можешь отделаться от мысли, что перед тобой если и не рассуждения современного психофизиолога, то, вполне возможно, мысли теоретиков зрительного восприятия XVIII или даже XIX в. Механизм превращения находящихся в нашем поле зрения световых пятен и контуров в осознанные и узнаваемые объекты описывается средневековыми схоластами вполне адекватно, что делает честь глубине их рациональных построений и интуитивных догадок. Альхазен и его западные последователи рассматривали зрение вовсе не как простой акт, но как комплексный процесс, разбитый на стадии — от физической радиации через грубое чувствование к восприятию и распознаванию.

В заключение заметим, что обо всем, перечисленном выше, в той или иной степени говорилось и в первых трех частях книги. Здесь мы постарались подкрепить выводы предыдущих разделов конкретными математическими доказательствами, геометрическими построениями и оригинальными текстами, собранными из различных доступных нам источников.

В следующей части мы обратимся к единому законченному произведению средневековой оптики — «Перспективе» Вителло — как к наиболее полному компендиуму оптических знаний своего времени.

ЧАСТЬ 5

«ПЕРСПЕКТИВА» ВИТЕЛЛО: КОМПИЛЯЦИЯ ИЛИ ШАГ ВПЕРЕД?

Говори правдивое и приятное;
не говори правдивого, но неприятного;
не говори приятного, но неправдивого —
вот извечная заповедь.

Древнеиндийское изречение



Три типа зрения.
Оборот титульного листа базельского издания
трактатов Альхазена и Вителло (1572)

ВВЕДЕНИЕ

Подробное рассмотрение «Перспективы» польского автора Вителло позволяет на ее примере показать типичную структуру университетского учебника, которая была выработана в схоластической среде к концу Средних веков. В предыдущих главах в различных тематических подборках уже приводилось сравнение мнений аль-Жинди, Альхазена, Бэкона или Пеккама с прямыми цитатами из Вителло. В результате некоторые абзацы из этой части почти дословно повторяют соответствующие места из четвертой, но были оставлены для сохранения последовательности изложения всех разделов «Перспективы» и цельности представления об этой замечательной книге.

Написанный Вителло в XIII в., этот трактат стал основным источником оптических знаний для эпохи Ренессанса и оставался таковым вплоть до XVII в. На «Перспективу» ссылались Леонардо и Альберти, Порта и Мавролик, Гримальди и Кеплер. Она хранилась в личных библиотеках Тихо Браге, Коперника и Галилея. По-видимому, это был «бестселлер» по оптике, его изучение входило в программы и курсы университетов, специализировавшихся на натурфилософской подготовке в рамках квадривиума и имевших сильные факультеты искусств.

Первое печатное издание «Перспективы», подготовленное Танстеттером и Апианом, вышло, как уже говорилось, в 1535 г. под длинным названием: «Десять книг чрезвычайно ученого математика Вителлио об оптике, которая повсеместно именуется Перспектива, то есть о природе, причине и падении лучей зрения, света, цветов и форм». В 1551 г. это издание было перепечатано. Еще двадцатью годами позже немецкий математик Фридрих Риснер подготовил новую редакцию, изданную в Базеле в 1572 г. под столь же длинным названием: «Сокровищница оптических знаний. Семь книг Альхазена Араба, сейчас впервые изданных. Также десять книг Вителлона Тюринго-Поляка. Все книги заново переработаны, иллюстрированы рисунками и улучшены с добавленными также Фредериком Риснером комментариями к Альхазену» [284]. Издание курировал учитель Риснера, выдающийся французский ученый Пьер де ла Раме (латинизированное имя Петр Рамус), который поставлял издателю рукописи трудов Альхазена и Вителло, как говорит о том сам Риснер во вступлениях, предвещающих труд каждого из авторов.

В 1972 г., к 400-летию базельского издания, стараниями Дэвида Линдберга был напечатан репринт редакции Риснера. Предварив сборник важным вступлением, Линдберг вновь привлек внимание научной общественности к этому капитальному труду и возродил среди историков науки дискуссию о его роли в развитии оптики.

Издание Риснера, которое включало полный текст «Перспективы», имело огромное значение для ее распространения. Мы будем анализировать трактат Вителло, опираясь именно на это издание 1572 г., один из экземпляров которого сохранился в Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова в Санкт-Петербурге и оказался доступен авторам настоящего учебного пособия благодаря бескорыстной помощи сотрудников библиотеки. Кроме того, мы воспользовались результатами анализа второй и третьей книг «Перспективы», изложенного в коллективном труде польских авторов под редакцией Витольда Врублевского [376].

СТРУКТУРА ТРАКТАТА. ПРЯМОЕ ВИДЕНИЕ. КНИГИ I-II

Базельское издание 1572 г. (рис. 20.1) интересно тем, что под одной обложкой изданы два оптических трактата. Оно открывается предисловием Риснера с посвящением книги сиятельной правительнице Екатерине Медичи. Текст предисловия наполнен аллюзиями вполне оптического характера: Риснер сравнивает свет Солнца и звезд со светом благодетели и одухотворяющим сиянием, исходящими от матери французского короля Карла IX.

Титульный лист труда Вителло (рис. 20.2) известен гравюрой, иллюстрирующей три основных типа зрения: *directi*, *reflexi* & *refracti* (прямое,

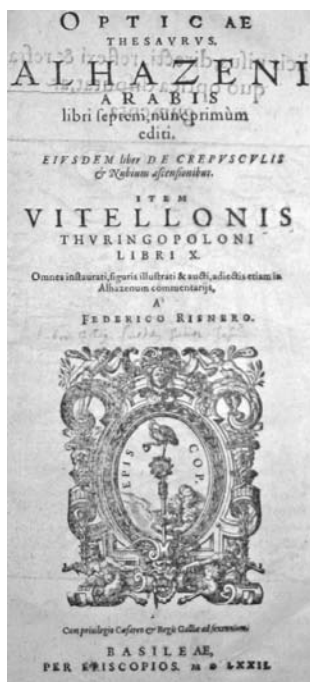


Рис. 20.1
Первая страница
титульного листа
«Перспективы» Вителло



Рис. 20.2
Вторая страница титульного листа
«Перспективы» Вителло

отраженное и преломленное), которые обозначены вверху листа и составляют содержание всех дальнейших десяти книг. Риснер отмечает значительное влияние, которое на труд Вителло оказали Евклид, Птолемей, Альхазен и аль-Фаргани.

Издатель утверждает, что сделанные им в исходном тексте исправления и дополнения, а также новые иллюстрации произведены под влиянием трудов Региомонтана, «позднейших астрономических наблюдений» и «мнения современных анатомов».

В предисловии самого Вителло многократно и с разных сторон подчеркиваются две стороны света — чувственная и духовная, определяющие важность изучения его природы. Даже в традиционном по форме благодарственном панегирике философу и переводчику Виллему из Мёрбеке ум его назван «светлым и прозрачным».

Возвеличивая других, Вителло собственные достижения оценивает весьма скромно. Заметим, что Виллем, который помогал ему в работе над «Пер-

спективой», посвящал свои переводы величайшим ученым того времени, например Фоме Аквинскому. Это означает, что авторитет Вителло к началу работы над оптической тематикой был уже достаточно весомым, и автор несколько лукавит, говоря о том, что вступает «в неведомую для себя область».

Каждая из десяти книг «Перспективы» начинается кратким вступлением, за которым следует *констатирующая часть* — постулаты (определения и допущения, рис. 20.3). Например, в первой книге — 16 определений. Далее идет *доказательная часть*, собственно *теоремы* — пронумерованные утверждения с последующими объяснениями.

Приступая к анализу содержания всех десяти книг, начнем с рассмотрения особенностей первой, вводной книги, посвященной вспомогательным геометрическим теоремам, и подробно остановимся на трех последующих кни-



Рис. 20.3
Вступительная страница второй книги «Перспективы» Вителло

гах как ключевых для понимания сути средневековой оптики. Здесь главными будут вопросы прямого видения, строения глаза, механизма зрения (включая физиологию и психологию), а также преломления света на границах раздела прозрачных сред.

Затем дадим обзор остальных книг, посвященных катоптрике — науке о зеркалах различных конфигураций и форм, их свойствах и всевозможных претерпеваниях при формировании отраженных образов.

20.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ

Первая книга содержит тот математический аппарат, который будет востребован при дальнейшем изложении оптической науки. Она открывается 16 геометрическими определениями и аксиомами: что такое перпендикуляр и его вершина, чем отличаются выпуклая и вогнутая поверхности, как строятся касательные и секущие и т. д. Особо выделяются случаи взаимного расположения двух окружностей: внутренние и внешние касания, концентричность, пересечения с различными межцентровыми расстояниями. Эти построения используются при описаниях сферических зеркал.

Доказательная часть первой книги детально разработана. Она содержит около ста геометрических теорем, из которых только часть принадлежит автору. Большинство доказательств логично структурировано на основе утверждений Фалеса Милетского, Евклида, Аполлония Пергского и Прокла. Первые 15 теорем являются основой планиметрических доказательств. Например: через параллельные прямые всегда можно провести плоскость (Евклид, «Элементы», I, 35). Или: линия, пересекающая две параллельных, пересекает и все другие равноотстоящие, лежащие в этой плоскости (лемма Прокла). Много внимания уделяется отрезкам параллельных линий. Доказывается, что прямые, проведенные через их концы, пересекаются со стороны меньшего отрезка (рис. 20.4); что получающиеся при этом треугольники обладают пропорциональностью сторон и оснований; наконец, что всегда можно провести третий равноотстоящий отрезок, относящийся ко второму так же, как второй к первому. Эти теоремы подобия, тяготеющие к построениям Фалеса и Евклида, обосновывают дальнейшие рассуждения о зрительных впечатлениях, поскольку видимая величина предмета определяется зрительным углом, а предметы, находящиеся на разных расстояниях, но видимые под одним углом, кажутся наблюдателю равными.

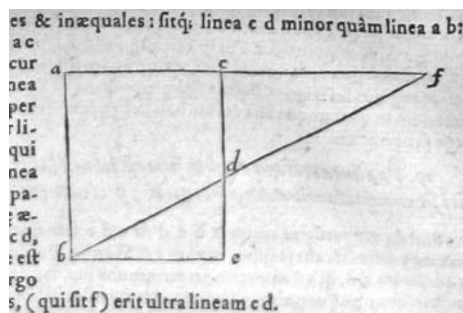


Рис. 20.4

С оптической точки зрения интересны теоремы 17 и 18. В первой рассматривается плоский случай и утверждается, что «прямые линии, содержащие равные углы с прямой или выпуклой линией, к которой падают в одну точку, вместе соединенные, короче всех линий, проведенных от тех же концов к той же самой линии в другую точку и образующих с той же линией неравные углы». Во второй теореме эта же мысль сформулирована уже для поверхностей. По сути, здесь излагается идея Герона Александрийского о минимальной длине оптических лучей, отражающихся под равными углами.

Доказательство для плоского зеркала (рис. 20.5) основывается на сравнении длин прямой и ломаной линий, опирающихся на глаз наблюдателя (точка d) и точку k за зеркалом, которая сегодня называется мнимым изображением.

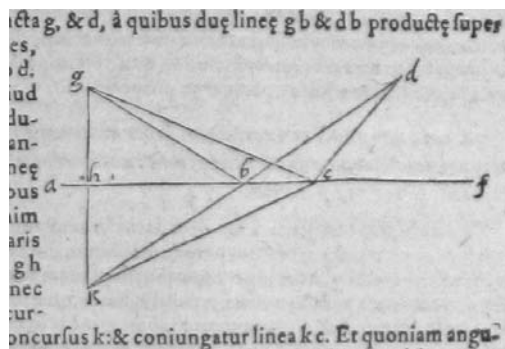


Рис. 20.5

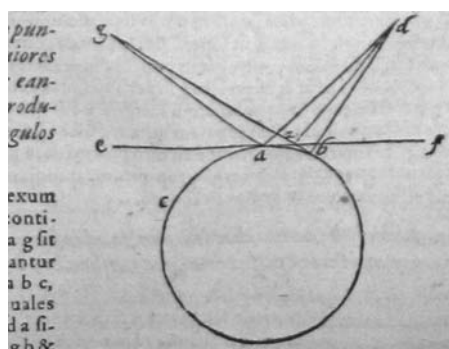


Рис. 20.6

Для выпуклого зеркала (рис. 20.6) доказывалось, что длина «неправильно» отраженного луча еще больше, чем длина его аналога для плоской касательной поверхности.

Отражательный принцип Герона действительно выполняется для любых плоских и выпуклых зеркал, поэтому Вителло справедливо исключает из рассмотрения вогнутые поверхности, для которых возможна не минимальная, а максимальная длина зеркально отраженных лучей. В формулировке Ферма этот принцип звучит как «экстремальная — минимальная, максимальная или стационарная» длина оптического пути. Но такие нюансы станут понятными только в XVIII в., после открытия методов дифференциальной геометрии, а для своего времени анализ Вителло следует признать практически исчерпывающим.

Среди теорем первой книги есть и очевидные. Ссылаясь на предшественников (Евклид, «Элементы», II, 13; Альхазен, «Сокровище оптики», V, 5), Вителло доказывает единственность перпендикуляра, опущенного из данной точки к плоской или выпуклой поверхности, и его минимальную длину. В этом случае вогнутая поверхность обоснованно не упомянута. Значительное место уделено свойствам окружностей, их хорд и радиусов («полудиаметров»). Можно выделить ряд собственных изысканий Вителло, имеющих отношение к объяснениям особенностей визуального восприятия предметов в различных ракурсах и с различных дистанций. Например, в теореме 49 им доказано (рис. 20.7), что если хорда и точка окружности лежат с различных сторон одного диаметра, то максимальный угол bac соответствует нормальному («оппозиционному») расположению его вершины a . Обратное утверждение (теорема 50) сформулировано для случая, когда точка и хорда лежат по одну сторону диаметра; тогда угол с вершиной на срединном перпендикуляре оказывается минимальным (рис. 20.8). Наконец, для хорды, совпадающей с самим диаметром, указано, что все опирающиеся на нее углы — прямые. Только последняя из трех приведенных теорем является классической для современного общего курса планиметрии. Две первые не столь употребительны, хотя совершенно справедливы и имеют отношение к обманам первого типа зрения: отрезок прямой, рассматриваемый под разными углами, может казаться не только меньшим, но и большим самого себя, наблюдаемого

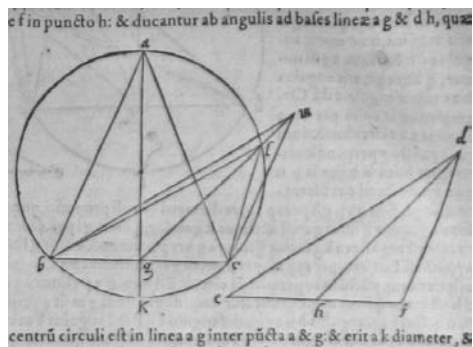


Рис. 20.7

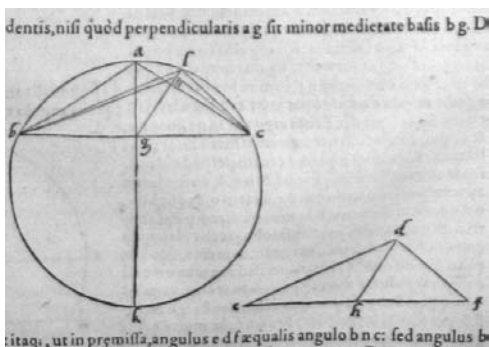


Рис. 20.8

по нормали. Если дистанция до предмета мала, то при его развороте *увеличение* его ближайшей половины превосходит *сокращение* половины дальней. Это тонкое рассуждение принято и сегодня учитывать при построениях остроракурсных видов в архитектуре, живописи и фотографии.

Последние теоремы книги посвящены элементам стереометрии. Поскольку вслед за Альхазеном автор много внимания уделяет цилиндрическим и коническим зеркалам, ему потребовались геометрические свойства плоских сечений этих фигур. В частности, в теореме 97 доказывается, что плоскость, перпендикулярная боковым поверхностям цилиндра и конуса, с необходимостью содержит их оси. В другом месте утверждается, что результатом таких сечений являются прямоугольник и равнобедренный треугольник соответственно. Сами эти фигуры четко определены как тела вращения: в первом случае — прямоугольника вокруг одной из сторон, а во втором — прямоугольного треугольника вокруг одного из катетов.

Сочетания прямых линий и операций их вращения ложатся в обоснование более сложного характера претерпеваний в зеркалах такой формы по сравнению с плоскими и сферическими.

Любопытными в заключительной части являются рассуждения Вителло о внеосевых сечениях конуса (рис. 20.9). Он доказывает, что плоскость, не проходящая через ось конуса, не формирует треугольных сечений. Здесь же приводятся три типа сечений: для плоскостей, параллельных оси конуса ad , — гиперболические; для плоскостей, параллельных образующей конуса ac , — параболические; для всех других — эллиптические. Зеркала с такими «неправильными» поверхностями рассматриваются в десятой книге в разделе о зажигательных зеркалах.

Истоки этих рассуждений следует искать в работах Аполлония Пергского, Диокла и Прокла. Скорее всего данный рисунок не является оригинальным, а был введен в текст редактором Фридрихом Риснером.

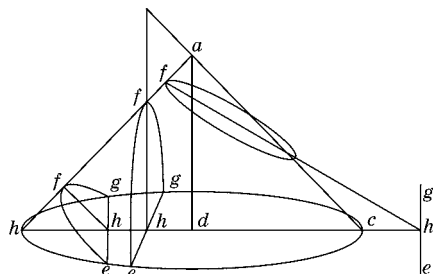


Рис. 20.9

20.2. ПРЯМОЕ ВИДЕНИЕ

Как следует из предисловия ко **второй книге**, она является как бы вступлением к физической части в современном понимании — к геометрической оптике. Об этом свидетельствуют слова Вителло: «Начинаю обсуждение с прохождения света через одну или больше прозрачных сред на тела различных форм, отбрасывания тени и формирования [пятен] света, падающего сквозь отверстия, как с того, без чего не случилось начинать сообщение о формах видимых».

Посвященная основам *прямого видения*, эта книга открывается определениями, которые иногда оказываются наиболее ценными для понимания сути средневековой оптики. Сначала даются определения различных тел: светоносного (*luminosum*), прозрачного (*diaphanum*) и темного (*umbrosum*). Это соответственно тела, которые распространяют свой свет и пропускают или задерживают чужой. Далее формулируется деление на свет первичный и вторичный, т. е. свет прямой от светоносных тел и свет, посылаемый поверхностями тел непрозрачных и, частично, прозрачных. Термин «рассеяние света» еще не присутствует, но по сути речь идет именно об этом. Приводится пример: место в комнате, куда через окно попадают лучи солнца, освещается первичным светом. Предметы в углах комнаты становятся видимыми благодаря свету вторичному. Делается попытка определить минимальный свет, который еще воспринимается глазом, а меньший уже не виден.

Коротко, но емко описывается луч: «Луч есть светоносная линия». После вводится понятие *лучевой линии*, или оси зрения, как прямой линии, вдоль которой распространяются зримые образы, возбуждающие в глазу способность видения. Таким образом, сам луч направляется от светоносного тела к предмету, а лучевая линия — от предмета к глазу наблюдателя. Для рассуждений о рефракции вводится понятие *преломленной линии*, части которой составляют между собой углы. В завершение определяются понятия лучевой (зрительной) пирамиды и световой пирамиды, или пирамиды освещения.

На основе этих определений Вителло излагает свою трактовку механизма зрения, следуя Альхазену: светоносные тела, распространяя свой первичный свет лучами вдоль пирамид освещения, возбуждают вторичный свет в прозрачных и непрозрачных телах. С его помощью эти тела испускают вдоль линий зрительной пирамиды свои постепенно уменьшающиеся образы, которые достигают точек других тел и могут попадать в зрачок глаза. По Вителло, эти образы различимы на внешних выпуклых оболочках глаза как в своеобразном сферическом зеркале.

Теоремы второй книги — их чуть более пятидесяти — развивают представления о лучах, световых и зрительных линиях и пирамидах. Первое же утверждение касается свойства прямолинейности лучей, причем как первичных, так и вторичных. Далее формулируется то, что в современной оптике называется законом независимости световых пучков: разные зрительные пирамиды и пирамиды освещения могут пересекаться как между собой, так и друг с другом, при этом не взаимодействуя. Разбираются случаи, когда оба типа пирамид опираются на один и тот же предмет; и если первичный свет больше минимального, то образы этого предмета долетают до глаза, возбуждая способность видения «по первому способу».

Часть теорем второй книги посвящена преломлению в прозрачных средах. Это несколько нарушает логику изложения (рефракции посвящена десятая книга), но зато подготавливает читателя к восприятию следующего раздела — о строении глаза и о прохождении образов через его сферические прозрачные оболочки. Так, в теореме 44 говорится о том, что излом лучевой линии (превращение в преломленную) происходит «над поверхностью тела, подверженного проницанию», если вторая среда более разреженная. Вывод, что лучи, попадая из более плотной в менее плотную среду, отходят от перпендикуляра и прижимаются к границе раздела, и сегодня не для всех очевиден. Для Средних веков это было нетривиально, поскольку поверхностные наблюдения убеждали в обратном: полупогруженные в воду стебли, весла или шесты, зрительно продолжаясь под водой (в среде более плотной), казались преломленными к поверхности. Чтобы не оставалось сомнений, Вителло формулирует еще одну закономерность преломления (теорема 50): «Лучи, падающие под равными углами, преломляются под равными же», и бóльшим углам падения соответствуют бóльшие углы преломления. Приведенная иллюстрация (рис. 20.10) настолько современна, что ее трудно признать за созданную в XIII в. Сферическая преломляющая поверхность (читателя готовят к описанию строения глаза) с центром в точке p окружает более плотную среду. Источник света находится в точке f или на линии h . Во все четыре точки падения a, b, d, e возведены радиусы-перпендикуляры и изображены лучи падающие и преломленные. Конечно, их общее схождение в точке g есть дань времени, когда о сферических аберрациях еще не знали, однако почти все соотношения углов, в том числе для вспомогательных лучей ha и ak , выдержаны правильно. Абсолютно верно даны и описания особенностей преломления на плоской границе: «От плоской поверхности прозрачного тела из всех лучей, падающих на эту поверхность, невозможна рефракция к некоей одной точке, и никакая рефракция не меняет положения частей преломленного образа, а только увеличивает или уменьшает его». Действительно, плоская поверхность не имеет оптической силы и способна визуально приближать или удалять предметы. Все три последние теоремы Вителло формулирует без ссылок на источник, из чего можно предположить, что это — плод его собственных наблюдений.

Проблемы, рассмотренные во второй книге, можно разделить на две группы. Первая группа задач посвящена рассмотрению распространения света в изотропных средах, вторая — явлению преломления света при переходе из

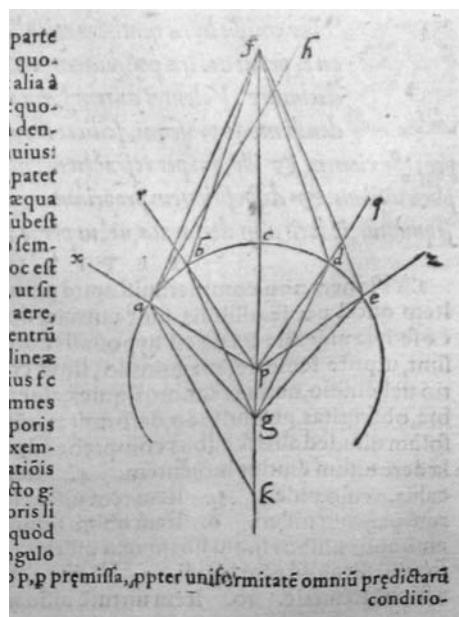


Рис. 20.10

одной среды в другую. В первой группе автор «Перспективы» рассматривает основные свойства света и однородных сред, фотометрические задачи, образование и форму тени, основные свойства распределенных источников света, а также формы световых пятен, когда свет падает на экран через отверстия различных форм.

20.3. СВЕТ В ОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Вителло начинает изложение с описания опыта, посредством которого доказывает, что свет распространяется прямолинейно. В теореме 1 он пишет: «То, что здесь утверждается, можно объяснить не доказательством, а при помощи приспособления. Древние [ученые] для установления этого пользовались многими приспособлениями, я же пользуюсь тем, которое опишу позже, потому что считаю, что при помощи его проще доказать это утверждение». Описание этого приспособления, размещенное Вителло в приложении ко второй книге «Перспективы», точно соответствует описанию инструмента, созданного Альхазеном (см. Приложение 2). Это приспособление является универсальным инструментом, позволяющим исследовать распространение света не только в воздухе, но и в иных средах. В теореме 1 автор ясно и убедительно описывает опыт, иллюстрирующий прямолинейное распространение света. (В теоремах 42–46 Вителло излагает исследование преломления света при переходе из одной прозрачной среды в другую, произведенное с помощью такого же устройства.) В теореме 2 он приводит рассуждения о скорости света. Это утверждение гласит: «Свет, не встречающий препятствий, должен распространяться мгновенно во всей среде». Из содержания доказательства вытекает, что выражение «распространяться мгновенно» следует понимать так, что скорость света бесконечно велика. К упомянутой проблеме Вителло возвращается еще раз в конце книги, в теореме 47, где читаем: «Каждый свет, проходя сквозь прозрачное тело, проходит движением наискорейшим и не воспринимаемым органами чувств, однако же так, что сквозь более прозрачное движение более скоро, чем сквозь менее прозрачное». В этом утверждении автор, вероятно, подразумевает, что ослабление движения света сквозь плотную (густую) среду обуславливает изменение скорости света в этой среде. Это означает, что движение света в плотной среде иное, чем «движение в локальном перемещении самого света, как следует из теоремы 2 настоящей книги». Цитируемые выше определения, относящиеся к скорости света, производят впечатление некоторой противоречивости. Однако эта противоречивость мнимая, поскольку из содержания второй книги (в основном из теоремы 47) вытекает, что среду иной плотности (густоты) следует трактовать как определенного рода препятствие. В другой части доказательства теоремы 2 Вителло говорит: «Стало быть, невозможно, чтобы свет распространялся в среде во времени; следовательно, это распространение должно происходить мгновенно».



К этой теме Вителло возвращается в теореме 55 третьей книги, где обращается к Аристотелю, который в трактате «О душе» утверждал: «И потому ошибался Эмпедокл и те, которые с ним утверждали, что свет пронесится в пространстве и в определенный момент растягива-

ется между землей и тем, что окружает землю, хотя это остается вне нашего внимания. Этот взгляд пребывает в противоречии как с очевидными доводами разума, так и с позитивными фактами. Очевидно, что если бы пройденное расстояние было коротким, могло бы [это движение] остаться вне нашего внимания. Но чтобы [на расстоянии] между востоком и западом [оно] не было замечено — это предположение слишком трудно для восприятия». В трактате «О чувственном восприятии» греческий ученый утверждает, что свет — это что-то конечное и движением не является, не имеет даже никакого сходства ни с изменением, ни с пространственным движением. В отличие от Аристотеля, Вителло и Альхазен придерживались иной точки зрения: если свет является движением, то движение происходит во времени, хотя это ускользает от нашего внимания. Размышления о скорости света носили спекулятивный характер и относились к области рассуждений скорее философских, нежели физических, ибо состояние науки и техники во времена Античности и Средневековья не позволяло измерить эту величину. Заметим, однако, что Вителло трактует световые явления как явления естественные и нигде — ни в этой книге, ни в третьей — не высказывается на тему природы света в противоположность предшественникам, которые трактовали свет как Божественный феномен.

Затем Вителло переходит к объяснению понятия светового луча (теорема 3), а следующие две теоремы (4 и 5) посвящены свойствам прозрачных тел. В теореме 4 автор утверждает, что свет и цвет не влияют на свойства прозрачных тел, а в теореме 5 — что свет и цвет, исходящие из разных источников, не смешиваются, а независимо проходят сквозь прозрачные тела. В соответствии со взглядами того времени, автор трактует свет и цвет отдельно, считая, что свет, проходя сквозь окрашенные тела, окрашивается их цветами.

20.4. ПРОБЛЕМЫ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

После обсуждения основных свойств света и его распространения в изотропных средах Вителло переходит к обсуждению проблем, которые сегодня отнесли бы к фотометрии, развитие которой началось только в XVIII в. Эти проблемы автор представил в теоремах 6, 7 и 20–22 второй книги.

В XIII в. никаких фотометрических понятий не существовало, натурфилософы лишь интуитивно ощущали законы визуального восприятия. Но, с небольшим преувеличением, в указанных теоремах мы можем встретить предвидение таких понятий, как поток мощности, падающий на поверхность, освещенность и т. п. В оригинале появляются такие выражения, как *impressio virtutis* (из контекста следует, что речь идет о том, что сейчас определяется как «поток мощности, падающей на полную поверхность»), *virtus corporis luminosi* (сейчас мы сказали бы «поток энергии, излучаемой светящимся телом»). Появляется также выражение *ad impressionem*, переводимое как «выталкивание» или «испускание». Из текста можно сделать вывод, что данное выражение означает результат действия света. В связи с этим выражение *ad impressionem virtutis* следует понимать как эквивалент употребляемого в фотометрии термина «освещенность». В теореме 6 Вителло говорит, что излучаемая световая энергия пропорциональна величине (площади) поверхности,

с которой она излучается. Он также замечает, что освещенность поверхности может зависеть от свойств среды, находящейся между источником света и этой поверхностью (теорема 7).

К фотометрическим задачам Вителло возвращается в теоремах 20–22. В них он утверждает, что свет от источника распространяется в виде расходящегося конуса, поясняет следствия этого факта, а также доказывает, что освещенность поверхности уменьшается с увеличением расстояния от источника света.

К этим вопросам примыкает задача формирования теней и полутеней. Вителло посвящает ей постулаты 3–5 и теоремы 8–15, 26–33 и 51. О причинах образования тени автор говорит в постулатах. Под тенью он понимает часть пространства, до которой свет не доходит по причине заслонения каким-либо непрозрачным телом. В начале обсуждения этих проблем Вителло поясняет, почему тень всегда ограничена световым лучом и отбрасывается непрозрачным телом в сторону, противоположную той, в которой находится светящееся тело. После представления этих основных свойств тени он приступает к описанию формы теней, наблюдаемых на поверхности непрозрачных тел и отбрасываемых такими геометрическими фигурами, как прямая линия, плоскость, а также геометрическое тело, когда они расположены перпендикулярно поверхности непрозрачного тела и источника света. Вителло поясняет, почему тени представляют собой в первом случае — прямые линии, наблюдаемые в виде точки, во втором — плоскости, наблюдаемые в виде прямых, а в третьем — часть пространства, наблюдаемую как поверхность. Следует отметить, что автор «Перспективы» многократно подчеркивает, что тень видима только на поверхности непрозрачного тела (теоремы 13–15).

Зависимости между размерами круглых тел и их теней, а также размерами неточечных (шарообразных) источников света представлены в теоремах 26–29. Следующие три теоремы посвящены контрасту (интенсивности тени) между затененной и освещенной площадями. По этому случаю Вителло обращает внимание на то, что одно тело отбрасывает столько теней, сколько источников, не лежащих на одной прямой, его освещает (теорема 30). Проблема полутени представлена, но особенности ее формирования даны более кратко, чем, к примеру, у Альхазена.

Протяженные источники света и формы световых пятен. Свойствам протяженных источников света и условиям освещения ими тел посвящены теоремы 17–21, 23, 24 и 34. В них Вителло затрагивает только основные проблемы, связанные с этим типом источников света. Доказывает, что невозможно, чтобы свет, испускаемый светящимся телом, исходил только изнутри него. Вслед за Альхазеном утверждает, что световые лучи должны распространяться во все стороны из произвольной точки поверхности светящегося тела (теорема 17), а также что невозможно, чтобы с поверхности светящегося тела исходили только параллельные лучи (теорема 18).

После доказательства двух указанных свойств протяженных источников света автор рассматривает освещение ими других тел. Он доказывает, что каждая точка светящегося тела освещает только ту часть иного тела, к которой можно из этой точки провести прямые линии (теорема 19), а также что световые лучи, исходящие из произвольной точки светящегося тела, обра-

зуют конус освещения (теорема 20). Вителло прозорливо утверждает, что каждое тело наиболее освещено вблизи перпендикулярно падающего луча (теорема 21). Как здесь не вспомнить современный косинусный закон освещенности! В заключение этих рассуждений (теорема 34) автор пишет, что пересечение либо параллельность световых лучей обусловлены соотношением геометрических размеров тела светящегося и тел непрозрачных. Из этого он делает вывод, подтверждающий постулат 6, что в однородной среде, каковой является воздух, свет распространяется изотропно.

Теоремы 36–41 посвящены рассмотрению форм световых пятен, образующихся при прохождении света, испущенного протяженным источником, через отверстия различной формы.

Рассмотрение этих проблем Вителло начинает с высказывания, что когда свет падает на непрозрачное тело (в современной терминологии — экран) через какое-то отверстие, то периметр образующегося светового пятна всегда больше периметра этого отверстия (теорема 36). Следующие две теоремы посвящены формам световых пучков, образующихся тогда, когда свет падает на экран через круговые отверстия перпендикулярно поверхности отверстия (теорема 37) либо под углом к ней (теорема 38). Как справедливо замечает автор, в первом случае получаем световое пятно в форме круга, а во втором — в форме эллипса. Вителло также обращает внимание на тот факт, что световое пятно, которое образуется при падении света на экран через отверстия в форме многоугольников, является скругленным (теорема 39). Как частные случаи рассматриваются формы световых пятен при прохождении света через отверстия квадратной формы. Вителло указывает, что в зависимости от того, падает ли свет на такое отверстие перпендикулярно или под углом, в первом случае получается световое пятно квадратной формы, но со скругленными углами (теорема 40), а во втором — световое пятно прямоугольной формы со скругленными углами (теорема 41). Обсуждая эти проблемы, Вителло не вспоминает об одном важном случае — форме светового пятна, которое образуется, когда свет падает на экран через очень малое отверстие. Здесь он уступает своим предшественникам: о том, что в таком случае появляется изображение освещенного или светящегося предмета, расположенного перед отверстием, знали еще в глубокой древности (египтяне, китайцы), а Аристотель наблюдал солнечное затмение через прототип камеры-обскуры. Об этом упоминал и Альхазен, экспериментировавший с изображениями трех свечей, поставленных перед преградой с малым отверстием.

Формы световых пятен, образующихся при прохождении света через отверстия различной формы, Вителло истолковывает неточно и путано. Он путается там, где не уверен в силу того, что эксперимента не проводил, а чисто математически это не вывести.

О преломлении света. Последняя группа теорем второй книги (42–50) посвящена преломлению света при переходе из одной среды в другую. В первых четырех теоремах содержится описание самого явления в тех случаях, когда световой луч падает перпендикулярно к поверхности разграничения двух сред, а также когда падает под углом. Утверждается, что при перпендикулярном падении света на поверхность разграничения двух произвольных

прозрачных сред луч не преломляется. Если же он падает под углом, то при переходе из менее плотной среды в более плотную преломляется в направлении перпендикуляра к поверхности преломления, проведенного из точки падения. При переходе из более плотной среды в менее плотную световой луч преломляется в направлении от этого перпендикуляра. Вителло также добавляет, что падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости (теорема 46).

В доказательствах автор ссылается на экспериментальные исследования, которые могли быть проведены с помощью приспособления, описанного в теореме 1. Не следует исключать возможности того, что эти опыты он мог выполнить лично, хотя анализ результатов, приведенных в уже рассмотренных нами таблицах преломлений, наводит на подозрение в их компилятивности, с одной стороны, и в имитационном характере — с другой. В теореме 47 Вителло, делая попытку философской интерпретации наблюдаемых явлений, пишет: «То, что до сих пор доказано с помощью отдельных опытов, намереваюсь подкрепить натуральным доказательством». Последние слова надо понимать в схоластическом смысле, когда натурфилософское, умозрительное доказательство ставится выше опыта. Было ли осуществлено это намерение, так и осталось неясным.

Явление преломления света Вителло объясняет сопротивлением, которое среда оказывает распространяющемуся в ней свету. Величину этого сопротивления он связывает с прозрачностью и плотностью тела. Более плотное тело, читаем в теореме 47, оказывает проходящему свету большее сопротивление, а менее плотное — меньшее. Кроме того, имеются и высказывания

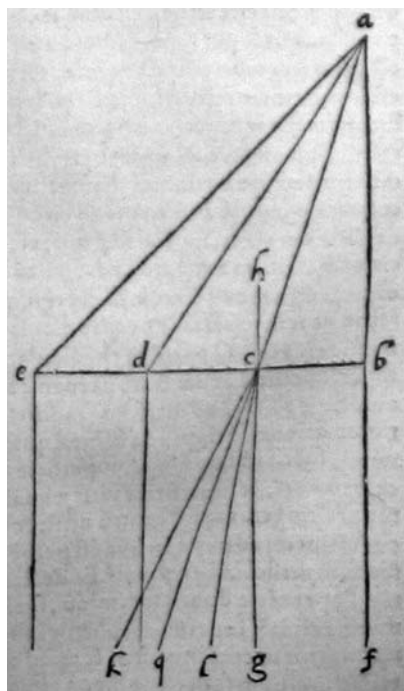


Рис. 20.11

о направленности световых воздействий на сопротивляющуюся среду: «Толчки, оказываемые перпендикулярно, сильнее косых», а также «среди всех косых наисильнейшие те, которые более приближены к перпендикуляру». Автор явно догадывался об особенностях сложения движений, т. е. о векторном характере некоторых физических величин (рис. 20.11): «Движение косо падающего луча по линии ac на тело другой, более плотной прозрачной среды bef складывается из движения в сторону перпендикуляра ab , проходящего через тело bef , и движения, совершающегося по линии cb , которая перпендикулярна линии cg ».

Теоремы 48–50 содержат дополнительную информацию о преломлении. Из них мы узнаем, что световой пучок при преломлении на плоскости не поддается фокусированию (теорема 48); предмет, рассматриваемый в преломленном свете, не изменяет своей формы (теорема 49); угол падения определяет угол преломления (теорема 50).

По всему тексту второй книги, говоря о явлении преломления, Вителло употребляет термин *густота* (плотность), а в третьей книге появляется термин *прозрачность*. Вителло, несомненно, знал, что преломление происходит на поверхности разграничения двух прозрачных сред, о чем свидетельствуют такие фрагменты: «Преломление света происходит, таким образом, на поверхности воды» (теорема 43); «преломляется же на сферической поверхности стекла» (теорема 45). Наконец, в теореме 46 определяется поверхность раздела: «Поверхность именуем поверхностью преломления».

Во второй книге трактата правила преломления света на границе двух сред, известные уже в древности, сформулированы только качественно и еще раз подтверждены экспериментально. Количественное определение явления, сделанное еще Птолемеем, в данном разделе Вителло не интересуется — его он приводит в десятой книге, посвященной диоптрике и метеорам.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОЩУЩЕНИЙ. КНИГИ III–IV

Зрение ограничено, слепота безгранична.

Би Дорси Орли

21.1. СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

Третья книга трактата целиком посвящена строению глаза и механизму зрения. Для нас она особенно интересна как концентрированное выражение важнейшего раздела средневековой оптики, поэтому ей мы уделяем повышенное внимание в разборе «Перспективы».

В преамбуле Вителло счел необходимым повторить мысль о *тройственном* характере зрения — посредством прямого видения, смотрения через отражения и через смещения органа зрения при преломлениях. Кроме того, он подчеркивает, что хочет проследить действие образов — *естественных форм* — на оболочки каждого глаза и объяснить совмещение этих форм в единую (стереоскопическую) картину.

Материал, собранный в третьей книге, представлен в 10 постулатах и 73 теоремах. В постулатах речь идет главным образом о физических условиях, определяющих видение, в теоремах же рассматриваются строение глаза, механизм формирования в нем зрительных образов, видение двумя глазами, а также определенные аспекты психологии и физиологии зрения. Центральное место в третьей книге занимает *подлинное описание глаза* (*vera oculi descriptio*). Оно сопровождается подробной схемой (рис. 21.1) с латинскими подпи-

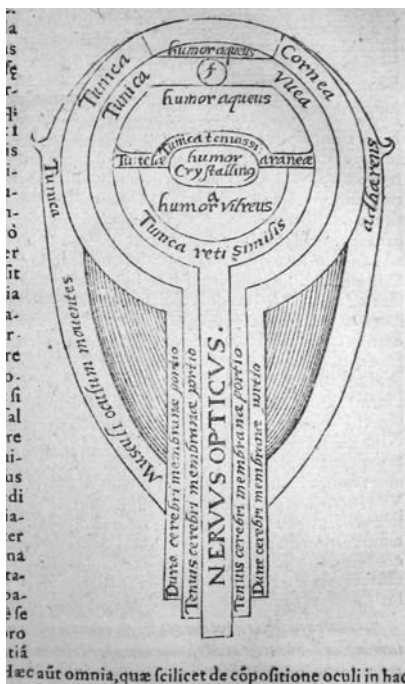


Рис. 21.1

сями, сделанной по более раннему оригиналу и исправленной, как следует из подписи, «по новейшим анатомическим книгам». Поскольку почти вся третья книга опирается на содержание альхазенова «Сокровища оптики», то и рисунок в основных моментах повторяет арабский оригинал: «Глаз есть сферический орган зрительной способности, состоящий из трех жидкостей и четырех оболочек, исходящих из субстанции мозга и между собой концентрически расположенных». Три указанные жидкости — это водянистая (*aqueus*), хрустальная (*crystallinus*) и стекловидная (*vitreus*) среды. Четыре оболочки (туники) суть роговая (*cornea*), слизистая (*uvea*), сетчатая (*reti similis*) и смежная, примыкающая (*adhaereus*). Указаны также мускулы, двигающие глаз (*musculi oculum moventes*), оптический нерв (*nervus opticus*) и две охватывающие его части мембраны мозга (*cerebri membrane portio*) — твердая (*dura*) и тонкая (*tenuis*). Как приведенное классификационное деление, так и наименования глазных жидкостей и окружающих оболочек с некоторыми изменениями вошли в современную офтальмологию. Взаимное расположение элементов глаза и их функции не могли быть правильно описаны в Средние века, однако надо признать, что предложенная модель органа зрения явилась большим достижением офтальмологии.

Собственно описание глаза предваряется двумя теоремами. Первая напоминает, что зрение (как и свет) распространяется по прямым линиям: «Между какой угодно точкой поверхности видимой вещи и некоторой точкой поверхности зрения с необходимостью могут быть проведены прямые линии, как вещь видится в действительности. Из чего явно, что только противопоставление видимой вещи и органа зрения дает видение». Это замечание подчеркивает различие, проводимое античными и средневековыми учеными между лучами первичного света и зрительными линиями, по которым вместе со светом вторичным распространяются летучие образы. Вторая теорема утверждает, что «орган способности видения необходимо является сферическим», и доказывается от противного (рис. 21.2). Предположим, что глаз плоский (отрезок *ab*); тогда зрительные линии, которые должны быть перпендикулярны поверхности зрения (*ac* и *bd*), смогут охватить лишь часть предмета *cde*, если его размер больше, чем зрачок глаза. Поскольку мы видим большие предметы целиком, это означает, что их образы распространяются по сходящимся зрительным линиям, постепенно уменьшаясь. При этом воспринимающие их оболочки глаза должны быть выпуклыми.

После описания глаза Вителло приводит два высказывания Альхазена («Сокровище оптики», I, 14 и 23) с опровержением теории истечений: «Невозможно объяснить зрение посредством лучей из глаз... видение бывает из действия видимой формы (зрительного образа) на орган зрения и из претерпевания зрения от этой формы».

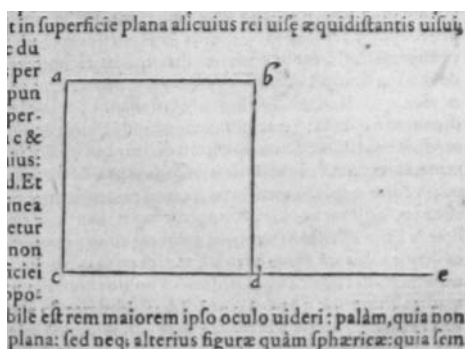


Рис. 21.2

Термином *претерпевание* обозначается процесс превращения картинки на оболочках глаза в мыслимый мозгом образ.

Помимо рассуждений о строении глаза, приводятся и теоремы об особенностях зрения двумя глазами. Вслед за Альхазеном Вителло изображает схему видения как неправильный ромб (рис. 21.3), вертикальная ось которого ab проходит через точку a пересечения правого и левого зрительных нервов до точки b наблюдаемого предмета cd . Горизонтальная ось rt соединяет точки выхода этих нервов из вогнутых сетчатых оболочек (уточняющая схема — рисунок 21.4). Выделяется единая плоскость, в которой лежат все упомянутые точки; устанавливается равенство углов для обоих глаз, изображенных окружностями o и p , а также обосновывается увеличение угла схождения зрительных осей для рассматривания приближающихся предметов.

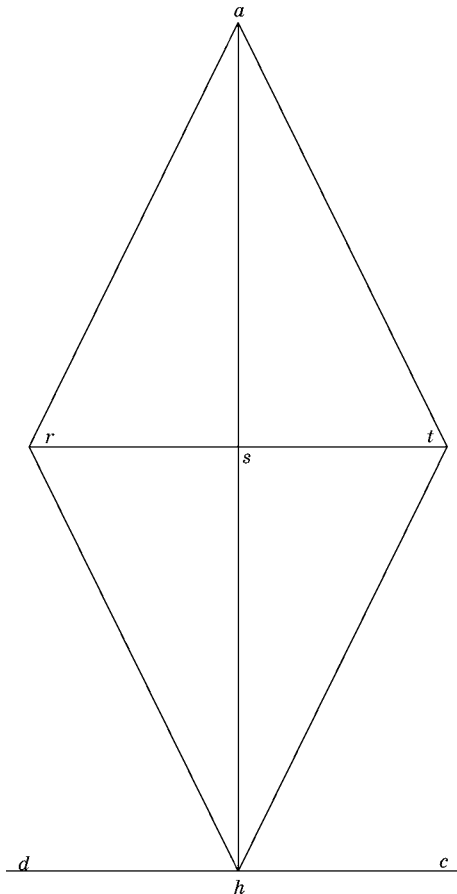


Рис. 21.3

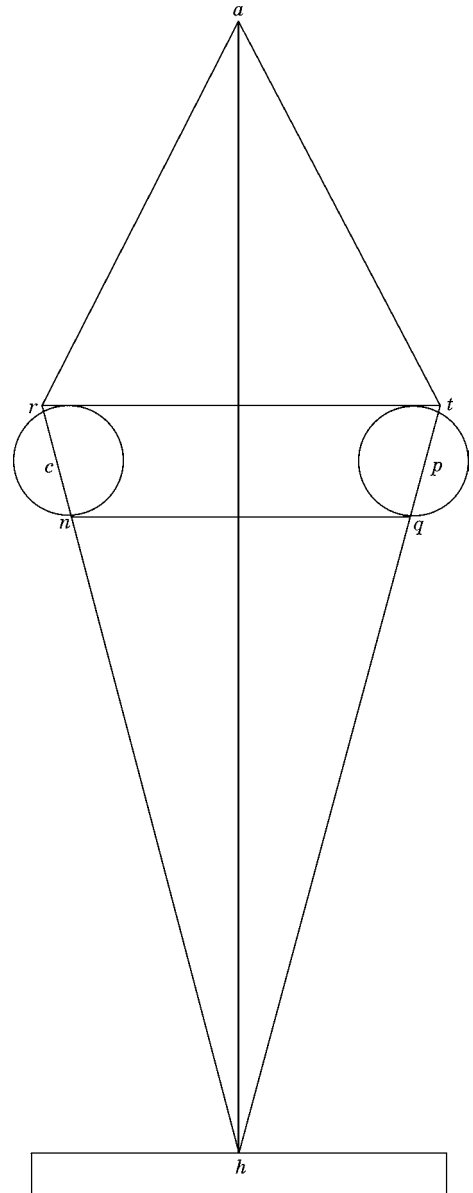


Рис. 21.4

Характерно выделение на глазном яблоке двух пар почти диаметральных точек — мест падения зрительных линий n и q , называемых далее *центрами влажных отверстий* (читай — зрачок), и мест выхода зрительных нервов r и t . Соответствующие расстояния rt и nq выравниваются только при наблюдении вдаль, во всех других случаях rt больше nq , что справедливо связывается с напряжением глазных мышц.

Согласно теории зрения того времени *видимые формы* (зрительные образы), проникая в оба глаза, передаются через хрусталики без переворачивания прямо в основания оптических нервов. По их каналам-трубкам они попадают в точку пересечения этих нервов, сливаясь в единый объемный образ.

Сказанное подтверждается иллюстрацией к теореме 37 (рис. 21.5), которая гласит: «Все точки зрительного образа, попадающие на поверхность зрения посредством лучевых осей, достигают середины общего нерва, где и соединяются». Рисунок весьма любопытен. Уменьшающиеся образы рассматриваемого двумя глазами предмета летят по сходящимся лучевым осям к внешним выпуклым поверхностям глаз. За ними происходит преломление (боковых осей — большее, центральных — меньшее), в котором основную роль играет плосковыпуклый сегмент. Легко видеть, что ему вместо функции собирать лучи приписывается свойство несколько рассеивать их, причем так, чтобы без переворачивания передавать зрительные образы в основания нервов. Единое изображение восстанавливается в месте соединения последних. Образы всех видимых точек предмета, сначала разделяясь, а затем соединяясь, попадают в этот *центр зрения* без нарушения своего относительного расположения. То, что древние ошибочно приняли за место формирования зрительного впечатления, сегодня называют зрительным перекрестом (хиазмом), который является просто местом переплетения оптических нервов перед их соединением с головным мозгом (здесь оптические нервы делятся каждый пополам на правое и левое поля зрения, попарно соединяются, а затем два левых зрительных поля уходят в правое полушарие, два правых — в левое).

Этот же момент рассматривается отдельно в теореме 36 со ссылкой на Альхазена («Сокровище оптики», II, 9).

Существенно, что радиус кривизны выпуклой оболочки $ghikl$ (рис. 21.6) меньше расстояния до вершины зрительной пирамиды a , что приводит, по мнению автора, к большим углам преломления для боковых лучей по сравнению с центральными. Сами зрительные линии показаны непреломленными.

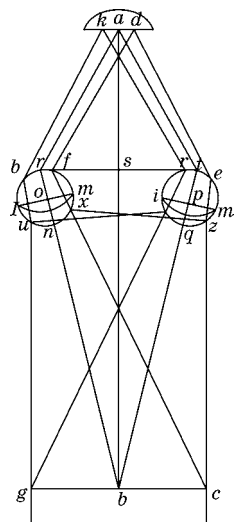


Рис. 21.5

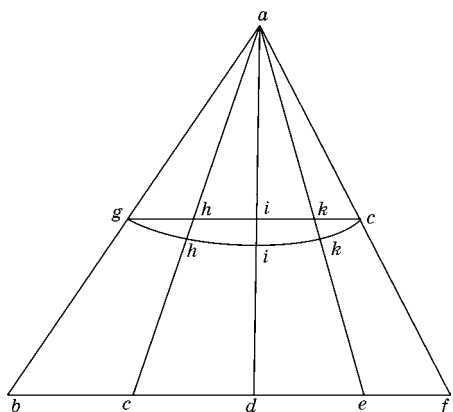


Рис. 21.6



Учитывая, что суть преломления на сферической границе более плотной среды и Альхазену, и Вителло хорошо известна, трудно усмотреть последовательность в их рассуждениях, если считать плосковыпуклый сегмент хрусталиком. Скорее всего сегмент рассматривается как менее плотный. Указание на игнорирование учеными вплоть до Декарта роли хрусталика как собирающей линзы имеется во многих работах по истории науки [220], [252], [296]. Объективные трудности многовекового процесса расшифровки истинного механизма зрения заключаются, во-первых, в нежелании признавать факт переворачивания изображений на сетчатке, а во-вторых, в способе препарирования глазного яблока: перед разрезанием его вываривали для укрепления тканей, в результате чего хрусталик принимал сферическую форму и смещался в центр глаза. Схемы подобных разрезов, иллюстрирующие формирование в глазу неперевернутых образов, можно найти не только у таких оптиков-любителей эпохи Ренессанса, как Леонардо или Дюрер, но и у оптиков-профессионалов XVI–XVII вв. — Мавролика, Порты и Галилея, а также в медицинских трактатах.

Обратимся к более детальному описанию методологии Вителло и его доказательной базы применительно к материалу третьей книги «Перспективы».

В описаниях структуры глаза при отсутствии анатомической точности имеется большое количество данных геометрического характера. Способ рассуждений и язык запутанны и неясны. Автор употребляет ошибочные определения, а их интерпретация возможна только благодаря сведениям, содержащимся в последующих разделах. Вителло неоднократно ссылается на утверждения анатомов, почерпнутые из доступных ему медицинских трактатов: «Тому, что глаз состоит из трех жидкостей и четырех оболочек, научили тщательные исследования анатомов» или «Сферичность поверхности жидкости хрусталика подобна уплощению чечевичного зерна, как это очевидно для тех, которые изучают анатомию глаза». Иногда подобными формулировками подкрепляются результаты геометрических доказательств: «Очевидно также, что представленное описание глаза согласовано с опытом всех тех, которые до сих пор писали о его анатомии». Об использовании медицинских трактатов свидетельствует высказывание в доказательстве теоремы 4: «Если иная оболочка либо жидкость окажутся поврежденными, а ледяная жидкость здоровой, глаз всегда удастся вылечить, зрение восстановит здоровье, в то время как при его [ледяного тела] повреждении портится все зрение без надежды возвращения к первичному состоянию даже при помощи лекарской опеки».

Следуя традиции, Вителло начинает описание строения глаза с утверждения, что «орган зрения должен быть шарообразным». В соответствии с представлениями того времени об анатомии глаза он именуется три жидкости следующим образом: жидкость белковая, жидкость ледяная, или хрустальная, а также жидкость стекловидная. Сегодня под этими понятиями подразумеваются водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело. Оболочки глаза носят у Вителло следующие названия: роговая, соединительная, виноградная, а также паутиная, или сетчатая. Отождествление *роговой оболочки* с роговицей не вызывает сомнений. Неточное описание *соединительной оболочки* позволяет предположить, что она включает в себя не только склеру с конъюнктивой, но и значительную часть мешочка Тенона. Эта

оболочка вместе с роговой должна составлять согласно Вителло весь глазной шар. Термин *паутинная*, или *сетчатая*, *оболочка* наводит на этимологически подобное определение сетчатки. Однако Вителло употребляет название *паутинная*, описывая оболочку, окружающую ледяную и стекловидную жидкость, а также разделяющую их. То есть в этом фрагменте следует усматривать, скорее, описание мешочка хрусталика и его связочного аппарата.



Определение *впадина* сосудистой оболочки относится скорее всего к радужной оболочке. Поэтому отверстие в передней части виноградной оболочки соответствует проекции края роговицы на основание радужки, а отверстие в тыльной части этой оболочки следует считать зрачком. Об этом свидетельствует и терминологический факт: выражение *foramen uveae*, определяющее отверстие в передней части виноградной оболочки, повторяется в третьей книге более 50 раз, и только однажды — термин *purilla* (зрачок). Другим часто употребляемым выражением является *поверхность зрения* (*superficies visus*). Оно введено в теореме 17 и, по-видимому, означает ту часть поверхности роговицы, на которой возникает изображение обозреваемого предмета. Это изображение в центральной части передней поверхности роговицы носит в современной науке название «первый образ Пуркине», по имени чешского естествоиспытателя Яна Эвангелиста Пуркине, иностранного члена-корреспондента Петербургской академии наук (1836), известного в том числе трудами по физиологии зрительного восприятия.

В третьей книге много места занимает описание зрительного нерва. Вителло называет его *полым нервом*, приписывая полости роль перенесения *духа видения*. Автор считает, что в полном нерве существуют мелкие каналы, через которые питается, покоящийся на конце этого нерва после его проникновения в центр глазного яблока до пространства круглого отверстия в тыльной части виноградной оболочки. Внешняя часть зрительного нерва конусно расширяется и представляет собой место прикрепления глазного яблока. Описание этой воронки похоже на описание части мешочка Тенона, а именно того его фрагмента, который остается в глазнице после удаления глазного яблока. Место перекрещивания зрительных нервов (хиазм, или перекрест) Вителло называет *общим нервом*. Содержание теорем 22 и 26 позволяет установить, что участок между *отверстием зрительного нерва* и перекрещиванием зрительных нервов именуется *частичным нервом*. Зрительному нерву Вителло приписывает функцию управления движением глазного яблока, а также совершение движений вместе с ним. Описываются также две оболочки зрительного нерва с утверждением, что они представляют собой продолжение аналогичных оболочек головного мозга. Из внешней оболочки этого нерва образуется роговица, а из внутренней — виноградная оболочка.

Особого рассмотрения требует вопрос формы, локализации и свойства *ледяной (хрустальной) жидкости*, или хрусталика. Эту жидкость Вителло считает важнейшей частью глаза и даже собственно органом зрения. Изображение рассматриваемого предмета, возникающее в ледяной жидкости, далее передается к мозгу посредством духа видения. Существенным для понимания последующих выводов является описание этой жидкости: «Наиважнейшая из жидкостей называется хрустальной или ледяной, и она явля-

ется собственно органом зрения и расположена в середине глаза. Это шарик, белый, влажный, принимающий влагу видимых форм. Она имеет небольшую прозрачность, потому что отличается определенной плотностью; поэтому ее прозрачность подобна прозрачности хрусталика или льда». Из этого фрагмента не следует делать вывод, что хрусталик шарообразен и расположен в геометрическом центре глаза. Потому что далее в тексте находим: «Сферичность поверхности хрустальной жидкости подобна уплощению поверхности зерна чечевицы». Это позволяет считать, что шарообразную форму Вителло относит только к передней поверхности хрусталика. Форма тыльной поверхности «должна быть плоскостью или частью шара, большего, чем ледяной шар, и не имеющей общего центра с поверхностью глазного шара». Таким образом, по Вителло, ледяная жидкость имеет форму чечевицевого зерна. Теорема 23 позволяет принять, что хрусталик может быть плосковыпуклым или двояковыпуклым. На исходных рисунках для первого случая, а также в иллюстрациях последующих изданий «Перспективы» ледяная жидкость была обозначена как плосковыпуклый хрусталик. Вителло пишет о небольшом уплощении на передней поверхности ледяной жидкости «для лучшего восприятия форм», однако нигде эту мысль не развивает. Он определяет положение тыльной поверхности хрусталика относительно центра глаза, называя ее «поверхностью пересечения ледяного шара и стекловидного». Положение этой тыльной поверхности он локализует перед геометрическим центром глаза. Это оказывает решающее влияние на обсуждаемый далее принцип возникновения изображений в глазу.

В теореме 7 Вителло утверждает, что весь глазной шар, ледяной шар, внешняя и внутренняя поверхности роговицы, а также выпуклая часть поверхности белковой жидкости имеют один общий центр. С другой стороны, в теореме 8 сообщается, что центр виноградного шара сдвинут вперед относительно центра глаза, а в теореме 11 утверждается, что относительно центра глаза центр стекловидного шара расположен также впереди. Существенно определение прозрачности отдельных жидкостей и оболочек глаза. Совокупное рассмотрение прозрачности и взаимоположения центров кривизны и форм отдельных жидкостей и оболочек глаза позволяет понять дальнейшие выводы автора о появлении зрительных образов. Геометризация механизма видения заставила Вителло изменить анатомическую терминологию: если в теореме 4 многократно встречаются названия жидкостей либо оболочек, то далее постоянно говорится о шарах или сферах, что более адекватно выводам и геометрическим теоремам Вителло. Таким образом, при *анатомическом* описании глаза автор сознательно подчеркивает различные оптические свойства оболочек и жидкостей глаза, в особенности их взаимосвязи и геометрические формы. Он приводит рисунок, названный *математической фигурой*. На нем Вителло обозначает дуги и кривизну оболочек, а также пространства, занимаемые отдельными жидкостями.

Рисунки глаза у Вителло, как и у Бэкона, представляются больше математическими фигурами, и манера, в которой они выполнены, малопонятна нынешнему читателю.

Поэтому необходимо привести некую историческую реконструкцию разреза глаза по Вителло.

21.2. РЕКОНСТРУКЦИЯ АНАТОМИИ ГЛАЗА

Оригинальные схемы строения глаза выполнены преимущественно на основе сведений, содержащихся в античных трактатах. Самых этих изображений не сохранилось, а манера арабских иллюстраций сегодня трудна для восприятия. Творцом почти всех анатомических реконструкций глаза, отображающих взгляды Демокрита, Гиппократ, Цельса, Руфуса, Галена, Аль-Хазена и других авторов, был Магнус [266]. Реконструкционные эскизы зрительного органа на основе арабских источников можно найти у Гиршберга, а рисунки арабского ученого Хунайна ибн Исхака воспроизвел Мейерхоф [274]. Историческая реконструкция разреза глаза может облегчить понимание того описания, которое приводит Вителло, поскольку приведенное в рукописях изображение глаза неясно, а способ его исполнения может стать причиной недоразумений. Так, на основании рисунка Вителло отверстие в передней части виноградной оболочки легко принять за зрачок.

Реконструкция разреза глаза исполнена в манере, понятной современному читателю, для чего использован текст третьей книги с привязкой к приведенным Вителло геометрическим зависимостям (рис. 21.7).

В соответствии с теоремами 8 и 9 проведена прямая линия, соединяющая центры отдельных оболочек и жидкостей глаза, на которой обозначена точка A — геометрический центр шара всего глаза, ледяного шара, а также центр обеих поверхностей рогового шара. Точка N является геометрическим центром виноградного шара, а точка G обозначает центральную точку общего нерва. Из точки A как из центра начерчена окружность шара всего глаза и рогового шара, являющегося его частью. Из точки N проводим виноградный шар, радиус которого меньше радиуса шара всего глаза и подобран так, чтобы он пересекался с последним. Линия этого пересечения определяет контур роговицы. Далее в соответствии с теоремой 11 подбираются радиус и положение центра стекловидного шара — точка C (рис. 21.8). Получается сегмент шара, ограниченный по контуру окружностью пересечения ледяного шара с виноградным. После изображения окружности стекловидного шара вычерчивается тыльная поверхность ледяного шара, которая согласно теореме 23 должна быть либо плоскостью, либо частью сферы, большей, чем ледяная. Приняв, что ледяной шар может иметь форму двояковыпуклой чечевицы, легко предположить, что центр шара, соответствующий тыльной выпуклой поверхности, должен располагаться на оси глазного яблока перед роговицей. Тыльная поверхность ледяной жидкости полагается плоской, что согласуется с теоремой 23. Для самого Вителло

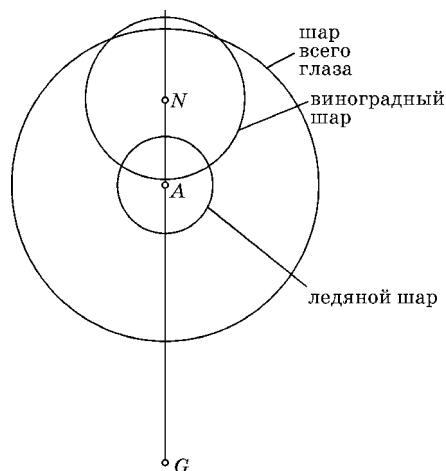


Рис. 21.7
Геометрия глаза по Вителло.
Структура трех шаров,
«наннзанных» на общую ось

Получается сегмент шара, ограниченный по контуру окружностью пересечения ледяного шара с виноградным. После изображения окружности стекловидного шара вычерчивается тыльная поверхность ледяного шара, которая согласно теореме 23 должна быть либо плоскостью, либо частью сферы, большей, чем ледяная. Приняв, что ледяной шар может иметь форму двояковыпуклой чечевицы, легко предположить, что центр шара, соответствующий тыльной выпуклой поверхности, должен располагаться на оси глазного яблока перед роговицей. Тыльная поверхность ледяной жидкости полагается плоской, что согласуется с теоремой 23. Для самого Вителло

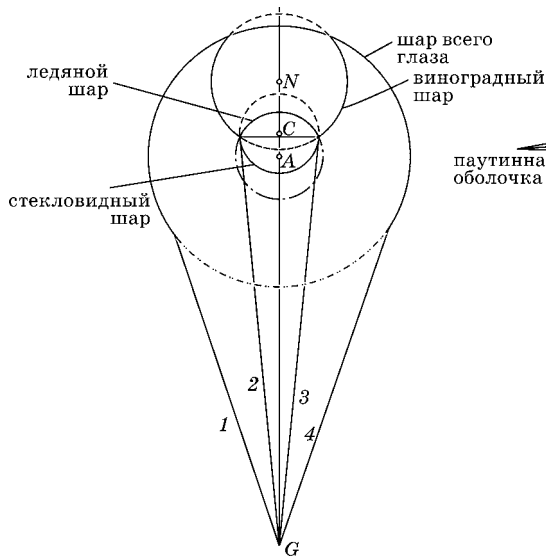


Рис. 21.8

Разрез модели глаза с обозначенными полными очертаниями анатомических структур глаза:

прерывистыми линиями обозначены те части структур, которые не фигурируют в окончательном виде модели. 1 — внешняя оболочка зрительного нерва; 2 — внутренняя оболочка зрительного нерва; 3 — внутренняя оболочка зрительного нерва; 4 — внешняя оболочка зрительного нерва.

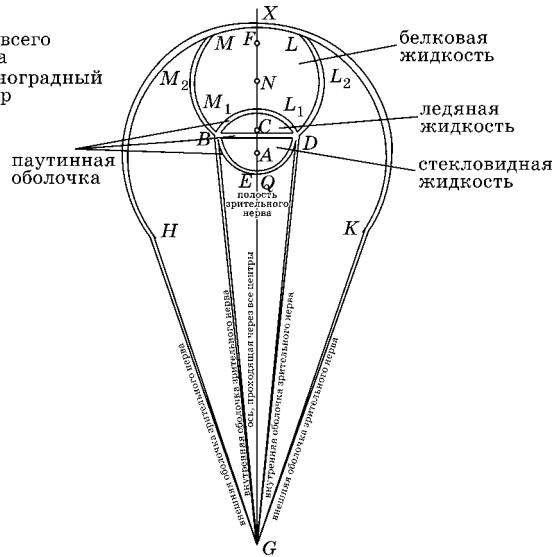


Рис. 21.9

Реконструкция разреза модели глаза

Буквенные обозначения в соответствии с обозначениями на рисунке 2В из книги III и текстом Вителона. В связи с иным способом изображения некоторые буквенные обозначения на этом рисунке поместить было невозможно. Буквы M и L на рисунке 2А и 2В из книги III соответствуют плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка. На рисунке они помещены в месте, соответствующем диаметру отверстия в виноградной оболочке. Буквенные обозначения с указателями были введены нами. MM_1 и LL_1 — внутренняя поверхность виноградной оболочки, могущая соответствовать согласно описанию Вителона радужке; M_2B и L_2B — внутренняя поверхность виноградной оболочки; MXL — роговица.

важным делом было определение положения этой поверхности относительно геометрического центра глаза, а вопрос ее формы не был принципиальным. Существовала продолжительная традиция в рукописях и изданиях «Перспективы» изображать тыльную поверхность хрусталика плоской.

На следующем этапе реконструкции (рис. 21.8) точка G связывается линиями, образующими ограничение зрительного нерва. Линии, проведенные до точек пересечения виноградного шара со стекловидным и ледяным, соответствуют *внутренней оболочке* зрительного нерва. Линии, соединяющие точку G с шаром всего глаза, соответствуют *внешней оболочке* зрительного нерва. Для наглядности прерывистыми линиями обозначены те фрагменты шаров, которые на окончательной реконструкции следует удалить, чтобы изобразить глаз в разрезе. Этим способом получены ранее упомянутые очертания фрагментов шарообразных пространств, образованных анатомическими структурами глаза. После устранения прерывистых линий и отображения толщины оболочек глаза получена реконструкция, представленная на рисунке 21.9.

На рисунках в рукописях «Перспективы» отображена различная толщина отдельных оболочек. Однако отсутствует пропорция между толщиной оболочек, следующей из описания и представленной на рисунках. Вителло при описании положения геометрических центров отдельных шаров ограничился только приведением качественных зависимостей. Поэтому выбор иного положения точек *A*, *N* и *G* на прямой, соединяющей центры всех оболочек и жидкостей глаза, привел бы к изменению пропорций и вида реконструкции, хотя зависимости между различными анатомическими элементами остались бы теми же. Полученная реконструкция, хотя и отклоняется от действительных разрезов глазного яблока, облегчает пользование текстом Вителло. В ней не упомянуты веки или мышцы, приводящие в движение глазное яблоко. Причина заключается в том, что Вителло представил геометрическое описание, а также создал разрез глазного яблока со строгими геометрическими связями и определенными оптическими свойствами отдельных оболочек и жидкостей. Ему было важно создать модель, которая на базе тогдашних анатомических сведений поясняла бы механизм возникновения изображения в глазу и процесс видения. Упоминание о веках и мышцах не требовалось для обоснования теории зрения, основанной на наблюдении картинок, возникающих в результате отражения света от поверхности глаза (образы Пуркине). Этим же объясняется отсутствие описания свойств паутиной или сетчатой оболочки и белковой жидкости.

На основании теорем третьей книги «Перспективы» была также проведена реконструкция хода зрительных нервов. Способ получения этой схемы не требует комментариев и представлен на рисунке 21.10.

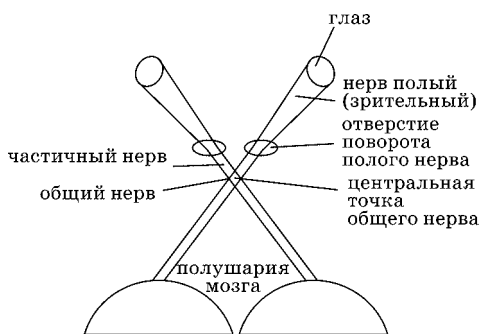


Рис. 21.10
Схема хода зрительных нервов

21.3. МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВ

В следующей группе теорем третьей книги Вителло обсуждает условия для осуществления зрения. Он утверждает, что дабы видение стало возможным, в нем должен участвовать свет и необходимо, чтобы была «возможность проведения прямой линии между какой-нибудь точкой поверхности рассматриваемой вещи и какой-либо точкой поверхности видения». Он не приводит ни определения поверхности видения, ни способа, посредством которого следует проводить эти прямые линии.

В теореме 5 Вителло доказывает, что видение осуществляется в результате достижения глаза световыми лучами, представляющими собой «линии распространения форм». Полемизируя с защитниками теории, что зрение осуществляется в результате истечения из глаза зрительных лучей, он пишет: «Видение есть результат действия видимой формы на зрение». Обсуждая действие этих форм, автор «Перспективы» дает описание так называемого натурального действия: «Это действие происходит путем иных природных

воздействий, ибо все воздействующее тело действует на каждую точку тела, подверженного воздействию, также и целое тело, подвергнутое воздействию, испытывает воздействия от каждой точки воздействующего тела». Представленное описание взаимодействия верно, хотя само разделение на тела воздействующие и тела, подвергающиеся воздействию, спорно. В данном случае оно оправдано активной ролью внешних форм и пассивной — глаза. Вителло подчеркивает, что зрение замечает предметы только тогда, когда между глазом и рассматриваемым предметом находится материальная среда (теорема 13). Одним из условий видения является разница прозрачности между рассматриваемым предметом и средой, в которой он находится (теорема 14): «Видение не возникает, если обозреваемое тело имеет такую же прозрачность, как среда». О термине *прозрачность* он рассуждает далее, а здесь имеет в виду отражение или преломление света на границе двух сред. Потому что тела, «которые сами не являются источниками света, видимы из-за отражения света от их поверхности».

После рассмотрения внешних факторов, обуславливающих видение, Вителло переходит к рассмотрению внутренних факторов возникновения изображений в глазу. Основное значение для объяснения механизма зрения имеют теоремы 17 и 20. Начало теоремы 17 Вителло формулирует следующим образом: «Четкое видение происходит только по линиям, проведенным от точек рассматриваемой вещи до поверхности глаза перпендикулярно ей». В связи с этим формы внутри глаза, благодаря которым происходит видение, распространяются вдоль радиусов глазного яблока и перпендикулярно как поверхности роговицы, так и передней поверхности ледяного шара. Далее читаем: «Из этого следует, что каждая видимая форма располагается таким же образом на поверхности глаза, как она расположена на поверхности обозреваемого предмета». Механизм возникновения зримых образов базируется на том, что формы, дающие видение, падают перпендикулярно поверхности роговицы. Вследствие этого на передней поверхности роговицы возникает изображение обозреваемого предмета — в настоящее время это изображение, как уже говорилось, именуют первым образом Пуркине. (Вителло не отдавал себе отчета в том, что эта картинка возникает за передней поверхностью роговицы, как изображение в выпуклом зеркале.) Отображение обозреваемого предмета далее переносится на переднюю поверхность ледяного шара. Это происходит благодаря перпендикулярному падению линии распространения форм на переднюю поверхность ледяного шара. На этой поверхности также формируется отображение обозреваемого предмета.

Описание процесса видения продолжается в теореме 20, где читаем: «Видение осуществляется лишь тогда, когда структура изображения, полученная на поверхности ледяного шара, доходит до общего нерва». Из дальнейших рассуждений следует, что изображение в общем нерве должно быть таким же, как на поверхности роговицы.

Эти рассуждения приводят Вителло к выводу: «Стекловидная жидкость должна иметь иную прозрачность, нежели ледяная» (теорема 21). Обосновывается это тем, что если бы их прозрачность (показатель преломления) была одинаковой, то линии распространения форм, благодаря которым происходит четкое видение, пересекались бы в центре глаза. Тогда бы происходило

перевертывание изображения и, следовательно, до общего нерва доходило бы перевернутое изображение обозреваемого предмета. Вителло же (как и его предшественники и последователи вплоть до Кеплера и Декарта) считал, что тогда бы мы видели перевернутое изображение. Чтобы такого перевертывания не было, на поверхности разграничения ледяной и стекловидной жидкостей должно происходить преломление света. В теореме 21 Вителло упоминает, что за ледяной жидкостью распространяющаяся форма должна натолкнуться на «тело с иной, более светлой прозрачностью, прежде чем дойти до центра глаза». Если бы не было такого тела, то в центре глаза произошло бы пересечение линий распространения форм, дающих четкое видение. Итоги наблюдений автор резюмирует в теореме 22: «Общая поверхность пересечения ледяного и стекловидного шаров находится относительно центра глаза впереди; стекловидная жидкость и дух зрения должны быть почти той же прозрачности, а одно и другое должны быть более прозрачны, чем ледяная жидкость». Доказательство этого утверждения основано на законе преломления света, изложенном в теоремах 42–46, и выводах из теорем 20–21, из которых следует, что линии распространения форм не могут пересечься в центре глаза. Вителло заключает, что «преломление должно происходить прежде, чем формы дойдут до центра глаза, ибо, если бы преломление происходило после прохождения через центр, формы обязательно были бы перевернуты». Такое преломление может произойти только на поверхности разграничения ледяной и стекловидной жидкостей, и потому эта поверхность должна быть сдвинута к передней части глаза относительно его центра. Далее автор разъясняет, что стекловидная жидкость и дух видения должны быть почти одной и той же прозрачности, поскольку в противном случае произошло бы искажение форм. На основании приведенных рассуждений Вителло формулирует конечный вывод: «Так как в обоих этих телах формы проходят далее за центр глаза, очевидно, что преломление произошло от перпендикуляра, проведенного через точку преломления к поверхности ледяного шара, то есть поверхности разграничения ледяной и стекловидной жидкостей». В этом месте имеется противоречие с более ранними его выводами.

Утверждение, что стекловидная жидкость имеет большую прозрачность, чем ледяная, противоречит механизму формирования зрительных образов, который основывался на следующих предпосылках:

- четкое видение осуществляется благодаря формам, распространяющимся по линиям, перпендикулярным поверхности видения (теорема 17);
- стекловидная жидкость должна иметь такую прозрачность (показатель преломления) относительно прозрачности ледяной жидкости, чтобы не произошло перевертывания форм (теорема 21).

Из двух вышеуказанных утверждений и теорем 42–47 следует, что перевертывания форм, дающих четкое видение, не произойдет только тогда, когда прозрачность стекловидной жидкости будет *меньшей*, чем ледяной. Поскольку линии передачи образов перпендикулярны обеим поверхностям роговой оболочки и передней поверхности ледяного шара, преломление на них происходить не может. Тогда преломление этих линий может осуществиться только на границе ледяной и стекловидной жидкостей. Эта поверхность

в соответствии с теоремой 23 представляет собой либо плоскость, либо часть сферы, не концентричной с глазным шаром.

Чтобы лучше уяснить некорректность этого рассуждения Вителло, рассмотрим преломление линий распространения форм, дающих четкое видение, на поверхности разграничения ледяной и стекловидной жидкостей. Положим, что поверхность эта плоская. На адаптированном рисунке 21.11 представлен вариант преломления в допущении, что стекловидная жидкость более прозрачна, чем ледяная (стекловидная жидкость действительно имеет меньший показатель преломления, чем хрусталик). В этом случае преломление происходит по направлению *от перпендикуляра*, как и утверждает Вителло. Однако в описанном случае эти линии пересекутся перед центром глаза, в точке *S*, что противоречит остальным его выводам: они вообще не должны пересекаться.

На рисунке 21.12 представлено преломление линий распространения форм при допущении, что стекловидная жидкость менее прозрачна, чем ледяная. Тогда преломление происходит по направлению *к перпендикуляру*, и ход линий распространения форм после преломления является таким, что пересечение происходит за центром глаза. То есть удаление точки пересечения от центра глаза зависит от величин факторов преломления стекловидной и ледяной жидкостей. Именно этот случай соответствует мифическому механизму формирования изображения в глазу без переворачивания.

Если принять, что линии распространения форм, создающих четкое видение, суть перпендикуляры к передней поверхности ледяного шара, подобное преломление этих линий получится независимо от того, будет ли тыльная поверхность ледяной жидкости плоской, выпуклой или вогнутой. Следовательно, чтобы допущение Вителло об отсутствии поворота изображения в глазу было выполнено, ледяная жидкость должна быть более прозрачной, чем стекловидная, а преломление на поверхности их разграничения должно быть направлено *к перпендикуляру*. Упомянутое отсутствие логики в тексте «Перспективы» вызывает вопрос, откуда взялась эта ошибка у Вителло, выводы которого в целом точны и логичны. Была исключена привнесенная неточность текста, ибо этот отрывок идентичен во всех изданиях и рукописях. Остается одно объяснение: Вителло согласно современной ему концепции функционирования глаза предположил *априори*, что дух видения должен быть наиболее прозрачным элементом.

Схема формирования изображения в глазу в соответствии с механизмом видения по Вителло приведена на рисунке 21.13. Линии распространения форм, обеспечивающих четкое видение, проходят согласно предпосылкам, о которых читаем в теоремах 17, 20 и 21. Они не пересекаются до достижения общего нерва.

Как упоминалось ранее, четкое видение осуществляется благодаря формам, которые распространяются по линиям, перпендикулярным поверхности видения. Эти линии образуют конус, вершина которого расположена в центре глаза, о чем читаем в теореме 17: «Итак, все линии распространения произвольных рассматриваемых форм, перпендикулярных поверхности оболочек глаза, располагаются в конусе, вершиной которого является центр глаза, а основанием — круг отверстия в виноградной оболочке либо части

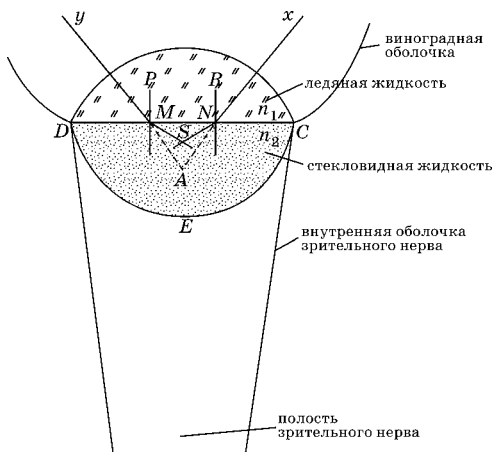


Рис. 21.11
Процесс преломления линий
распространения форм,
когда стекловидная жидкость
прозрачнее водянистой жидкости
($n_1 > n_2$):

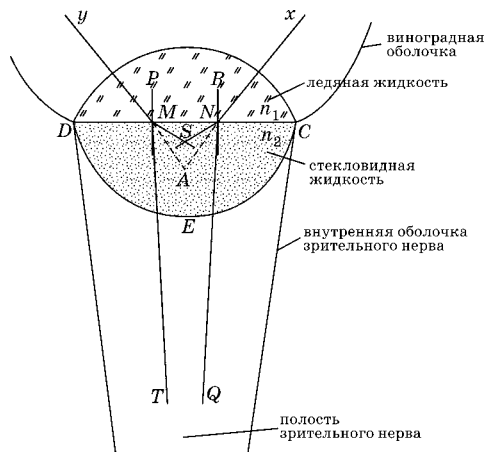
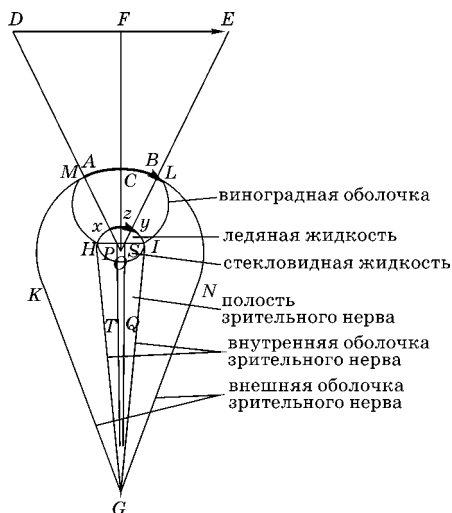


Рис. 21.12
Процесс преломления линий
распространения форм,
когда стекловидная жидкость
менее прозрачна, чем водянистая
($n_1 < n_2$):

A — центр кривизны передней поверхности водянистого шара (дуга DBC), являющийся одновременно центром глаза; CD — поверхность разграничения водянистой и стекловидной жидкостей; DEC — тыльная поверхность стекловидной жидкости; M и N — точки падения линий распространения форм XN и YM на поверхность разграничения (они перпендикулярны дуге DBC); PM и RN — перпендикуляры к поверхности разграничения, проведенные через точки падения M и N ; - - - - продолжение линий падения до точки A , — — — — линии распространения форм после преломления; n_1 и n_2 — факторы преломления соответственно водянистой и стекловидной жидкостей; S — точка пересечения линий распространения форм после преломления.

Рис. 21.13
Формирование изображения
в глазу согласно описанному Вителлоном
механизму:

DFE — обозреваемый предмет; ACB — его отображение на поверхности видения; XZY — отображение предмета на передней поверхности водянистого шара; O — центр глаза; $DAXPT$ и $EBYSQ$ — линии распространения форм, обеспечивающих четкое видение точек D и E (они перпендикулярны поверхности роговицы и передней поверхности водянистой жидкости); HI — поверхность разграничения водянистой и стекловидной жидкостей; G — центральная точка общего нерва; ML — поверхность роговицы; $FCZO$ — линия, перпендикулярная поверхности роговицы, передней поверхности водянистой жидкости и поверхности разграничения водянистой и стекловидной жидкости.



поверхности этого круга; все формы вещей, расположенных внутри этого конуса, распространяются прямолинейно по радиальным линиям и непрерывными проходят через глазные оболочки, а конус этот называем радиальным конусом». На рисунке 21.13 это конус AOB . Свои рассуждения автор продолжает в теореме 18, где доказывает, что линии распространения форм, благодаря которым осуществляется четкое видение, заключены внутри конуса, вершина которого расположена в центре глаза, а основание — на поверхности обозреваемой вещи. В теореме 27 этот конус именуется также *конусом видения*. Ось конуса Вителло называет радиальной осью (линия FCO). Она перпендикулярна поверхности видения, ибо проходит через центр глаза и центр отверстия в виноградном шаре. Все остальные линии конуса Вителло именуется радиальными линиями, которые также перпендикулярны поверхности роговицы. В теореме 32 радиальные оси называются осями конусов видения либо кратко — осями видения. Из факта существования конусов видения автор извлекает вывод о том, что «все, что видимо — видимо под углом».

В настоящее время не применяется понятие *конуса видения*, но ему почти идентичен используемый современной наукой термин *угол зрения*. Важны также комментарии Вителло, относящиеся к разрешающей способности глаза, которые содержатся в теореме 19. Автор, разумеется, не приводит количественных данных, но все сделанные им выводы справедливы.

21.4. ВИДЕНИЕ ДВУМЯ ГЛАЗАМИ. ПСИХОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Очередную группу проблем, рассматриваемых в третьей книге «Перспективы», можно причислить к бинокулярной проблематике. Вслед за античными и арабскими предшественниками Вителло выясняет, почему, глядя двумя глазами, мы видим один предмет, но при этом игнорирует стереоскопичность зрения. Мы тоже ограничимся обсуждением этих проблем в понимании Вителло.

Из изложенного в теоремах 32, 37 и 38 следует, что для автора основным является допущение, что оба глаза идентичны, но между ними есть небольшой разнос. Вителло доказывает, что глаз может двигаться только целиком, а это означает, что во время движения взаимные положения его частей не изменяются. В теореме 26 он, доказывая, что движение глазных яблок синхронно, пишет: «Движутся оба глаза, [ибо] один движется так же, как и другой». Эту мысль он развивает в теореме 32: «Если один глаз сдвинется, дабы что-то увидеть, тотчас же другой глаз сдвинется тем же самым движением, чтобы увидеть то же самое; а если один глаз отдыхает, то и другой будет отдыхать. Невозможно, чтобы один глаз двигался, а другой отдыхал». Это утверждение Вителло обосновывает тем, что возбуждение глазных яблок исходит из общего для обоих зрительных нервов источника, т. е. из хиазма. Он приписывает полым зрительным нервам функцию движения глазных яблок.

Принцип видения двумя глазами содержится в теореме 7, а остальные теоремы третьей книги, посвященные этой теме, представляют собой развитие, обоснование и объяснение данного принципа. В теореме 28 Вителло до-

казывает, что, несмотря на существование двух глаз, «видна только одна форма одной вещи», а возникновение одного изображения обозреваемого предмета представляет слияние в общем нерве изображений, возникающих в каждом глазу. Это же вытекает из следующего высказывания в той же теореме 28: «Хотя и две формы доходят до общего нерва, но они сливаются и становятся единой формой, а вследствие их объединения результирующий элемент, воспринимающий чувственные ощущения, принимает форму обозреваемой вещи, и таким образом видна только одна форма одной вещи». Вителло рассматривает геометрические зависимости, обуславливающие четкое видение двумя глазами, анализируя ряд свойств конусов видения, а также взаимосвязи между их осями. Об этом автор пишет в теореме 32: «Обе оси конусов видения, проходящие через центры отверстий в виноградном шаре, всегда должны соединиться в единой точке на поверхности обозреваемой вещи и тогда, когда зрение перемещается по поверхности обозреваемой вещи».

Для понимания взглядов Вителло, касающихся формирования единого изображения, поучительно проследить ход доказательства, которое говорит о слиянии двух форм обозреваемого предмета в одну, находящуюся в общем нерве. Следует помнить, что выражением *форма предмета* Вителло определяет то, что мы сегодня именуем предметом, а выражением *форма обозреваемого предмета*, которая должна создаться в общем нерве, — то, что ныне называется изображением наблюдаемого предмета. Здесь знаменательна теорема 43, в которой говорится: «Точное восприятие форм зрением происходит по всем линиям радиального конуса, более точное — по линиям, которые ближе к оси, а очень точное — по оси, проходящей через центр отверстия в виноградном шаре». Формулировка этого утверждения, так же как и двух последующих, доказывает, с одной стороны, интуитивное понимание значения так называемой параксиальной (приосевой) области оптической системы глаза, а с другой — непонимание роли хрусталика и сетчатки в процессе видения.

В теоремах 46 и 47 сформулированы условия для того, чтобы обозреваемый предмет был виден четко: на нем должны сходиться обе глазные оси и близкие к ним лучи. По мнению Вителло, обозреваемый предмет видим целиком, потому что во время обозревания конусы видения синхронно перемещаются по его поверхности, последовательно выводя на общую ось различные точки предмета.

Аспекты психологии и физиологии зрения. Все упомянутые проблемы автор анализирует в контексте философских и психологических рассуждений, стремясь объяснить процессы самого акта видения. Из 73 теорем третьей книги 32 посвящены психологии зрения. Стоит заметить, что 28 из них Риснер снабдил ссылками на Альхазена. Нет ничего удивительного в утверждениях, что Вителло, оригинальный во многих физических вопросах, на психологическом поприще зависим от арабского ученого. Оба исследователя, говоря о психологии зрения, используют наследие Аристотеля. Перечисляя вслед за греком отдельные ощущения, Вителло также выделяет чувство зрения (*sensus visus*), разъясняя, что оно состоит в отражении в глазу, как в зеркале, чувственных форм. В чувстве зрения появляются формы, которые в действительности не существуют. Глазом мы видим не вещи в их натуральную

величину, а их изображения, которые изменяются в зависимости от угла, образуемого в глазу линиями, исходящими из границ поверхности обозреваемого предмета.

В теореме 5 Вителло оспаривает мнение, что зрение осуществляется благодаря испускаемым глазами лучам, «посредством которых способность видения связывается с явлениями, возникающими внутри глаза». Он настаивает, что, наоборот, формы обозреваемых предметов воздействуют на зрение: «Когда глаз расположен напротив какой-то вещи, либо освещенной, либо цветной, тогда распространяется либо сам свет, либо свет с цветом вещи, расположенной напротив глаза... свет и цвет вместе доходят до поверхности глаза». Еще яснее это выражено в теореме 17: «Согласно моему принципу не лучи исходят из глаз, а формы распространяются к глазам, формы обозреваемых точек».

Во втором постулате третьей книги Вителло утверждает, что сам рассматривает чувство зрения как осуществляющееся исключительно посредством света и цвета — вещей первичных, ибо без света акт видения не происходит вообще. Помимо обособленной трактовки света и цвета, удастся заметить, что интуитивно автор ощущает связь между светом и цветом, доказательством чему служит употребление оборота «свет является ипостасью (носителем) цветов» (постулат 2). В то же время инициированная Аристотелем интерпретация формирования цвета как результата прохождения бесцветного света сквозь окрашенные прозрачные предметы (постулат 8) ошибочна. В теореме 59 Вителло еще раз возвращается к этой проблеме и подтверждает ранее обоснованную точку зрения, добавляя, что такие черты, как «положение, форма, величина и тому подобное» не могут восприниматься зрением без света и цветов, поскольку видение не происходит, если свет не участвует в этом акте. Свет, добавляет автор, вызывает в душе только «чувственное впечатление видения». Вещь может быть замечена тогда, когда она освещена. Вителло подчеркивает, что свет и цвета можно наблюдать исключительно чувством зрения без участия иных свойств души, а следовательно, иначе, чем это имеет место в случае видения тени, когда необходимо участие разума. В теореме 69 он описывает процесс познания, обращая внимание на аспект психологический, познавательный: «Свойства обозреваемых предметов познаются благодаря рассуждению и различению». С точки зрения физиологии Вителло рассматривает распространение форм в прозрачных оболочках и жидкостях глаза как два этапа одного и того же процесса, который происходит мгновенно. Только в случае восприятия похожих вещей, например зелени травы и мяты, необходимо время, чтобы разум мог сравнить оба предмета или цвета и распознать их.

Также необходимо время на познание сущности цвета (теорема 70). В качестве примера Вителло рассматривает опыт с многоцветным мячом, отдельных цветов которого глаз не может распознать, когда мяч быстро движется, — тогда наблюдается смешанный цвет. Заметим, что Альхазен, на которого Риснер делает ссылку, обсуждая эту проблему, приводит пример с разноцветным волчком, а не мячом.

Другим физиологическим явлением, которое вслед за античными мыслителями описал Вителло, являются *остаточные изображения*. Суще-

вание этого явления он считает результатом воздействия зрительной формы на зрение, говоря, в частности, что остаточное изображение есть *отпечаток* этой формы в органе зрения. Условием, обеспечивающим наблюдение обозреваемой вещи, Вителло считает ее размер, больший некоего минимального и гарантирующий, что она будет замечена глазом. Эта проблема рассмотрена в теореме 19: «Обозреваемое тело должно иметь определенную величину относительно поверхности глаза, чтобы его можно было воистину увидеть». Он добавляет: «Но орган, воспринимающий чувственное впечатление, не воспринимает формы, если часть его поверхности, до которой доходит форма, не будет иметь величины, достаточной для восприятия чувством, относительно всего глаза». Эти утверждения вместе с теоремой 18, где Вителло говорит о том, что все предметы видимы под своими углами, зависящими от их размеров и дистанций, позволяют заключить, что он интуитивно ощущал введенное много позже понятие разрешающей способности (*minimum separabile*).

Вителло постоянно указывает на необходимость того, чтобы обозреваемое тело и среда имели различные прозрачности, а также на подходящий диапазон расстояний между наблюдаемым предметом и глазом. Видение, как разъясняет он в теореме 6, есть результат действия на зрение формы обозреваемой вещи и восприятия чувственных ощущений. Однако форма должна пройти через все оболочки и жидкости глаза до способности видения. Познание посредством зрения происходит благодаря тому, что «сразу за субстанцией глаза находится прозрачный дух видения, благодаря которому способность восприятия чувственных ощущений появляется во всех прозрачных жидкостях и оболочках обоих глаз» (теорема 69). Вителло обстоятельно описывает место, где осуществляется акт видения: «На пересечении обоих зрительных нервов в передней части мозга была выявлена способность видения путем восприятия чувственных ощущений и различения каждой обозреваемой вещи. Становится ясно, что видение будет исполняться только тогда, когда видимая форма объединится со способностью восприятия чувственных ощущений, которая находится в полости общего нерва». В других теоремах он подтверждает свое убеждение, что способность восприятия чувственных ощущений и осуществления движения глаз заключена в общем нерве. Из процитированных фрагментов следует, что дух видения и способность видения исполняют одну и ту же функцию и представляют собой нематериальный элемент, определяющий сам факт того, что человек видит и воспринимает зрением отдельные формы обозреваемых предметов. Тем не менее из утверждения, что стекловидная жидкость и дух видения должны быть почти одинаковой прозрачности, следует, что последний будто бы является элементом материальным. Из теоремы 20 узнаем, что способность видения не только замечает, но и различает обозреваемые вещи. Об этом Вителло в теореме 67 рассуждает шире, называя способность видения также способностью различения (*virtus distinctiva*).

Начиная с теоремы 51, Вителло обсуждает видение как акт познания, дающий человеку сведения о мире. В соответствии с разделением чувственного и духовного познания он определяет видение простое, называемое просто видением, а также обозревание. Оба названных способа видения детально

характеризуются. Видением простым автор называет акт принятия формы обозреваемой вещи, а обозреванием — поиск «истинного восприятия формы», что подробно излагается в теореме 62. Подчеркивается, что истинное познание возможно только посредством обозревания, в котором участвуют разум и способность различения отдельных свойств. Собственно обозревание и обеспечивает человеку добывание и закрепление в душе всеобщей формы, которая делает возможным распознавание индивидуумов одного вида (теорема 61). Распознавание отдельных свойств обеспечивает способность различения (теоремы 65 и 67). Таким образом, глаз для Вителло есть важный инструмент в познании мира и добывании истины.

Психологические вопросы встроены автором в общую теорию познания до такой степени, что иногда трудно отделить психологические проблемы от познавательных. Изучение особой психологической силы глаза, благодаря которой человек вообще видит, не является предметом исследования третьей книги, поскольку, по мнению Вителло, относится к другому разделу философии, о чем он и пишет в начале книги: «Каким образом глаз является органом видения, это я обхожу, как предмет иной части философии».

21.5. ОСОБЕННОСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

В преамбуле к **четвертой книге** Вителло подчеркивает, что, разобрав особенности органа зрения и выделив «три сущностных способа видения», необходимо остановиться на тех свойствах всякого видимого, «которые выявляются посредством того, что видимо само по себе — то есть света и цвета». Как следует из дальнейшего, имеются в виду особенности зрительного восприятия размеров и форм предметов, их взаимных расположений, «быстроты их перемещений». Разделяются «подлинное схватывание» при помощи зрения, «претерпевания и обманы, которые случаются в самом видимом», а также искажения впечатлений за счет «внутренних способностей души». Иными словами, автор разделяет объективно существующие оптические иллюзии, в первую очередь обусловленные механизмом зрения и устройством глаза, и факторы субъективных ошибок, возникающих за счет несовершенной обработки мозгом воспринимаемых образов.

Первыми определяются термины видимых образов, посылаемых прямо или наклонно. Они различаются углами падения лучей на поверхность зрения в *центре влажного отверстия* (зрачка). Затем вводятся понятия отрезков прямых линий и участков поверхностей, *прямо противопоставленных* зрению и *наклоненных* к нему. Критерием является возможность проведения зрительной оси по нормали к отрезкам или поверхностям. Для полноты картины приводятся некоторые тривиальные определения: «Удаление одной вещи от другой есть отсутствие контакта между ними». Все эти характеристики размеров, форм и расположений предметов окружающего мира Вителло подробно фиксирует с единственной целью: показать далее, каким образом и с какой степенью достоверности особенности зрительного восприятия позволяют наблюдателю оценивать эти характеристики. Например, удаленные друг от друга предметы могут казаться прикасающимися, если через их края проходит единая зрительная ось. Не только в оптическом, но и в фило-

софском аспекте интересно определение 8: между «подлинным схватыванием посредством зрения» и «истинностью видимой вещи как таковой» не должно быть никакой «чувственной разницы в отношении всей этой вещи». Сказано достаточно туманно. Не вдаваясь в дискуссию о познаваемости мира и соотношении между сенсорикой и логикой, Вителло ссылается на Божественный промысел, создавший мир таким, каков он есть, и позволяющий человеку познавать его в тех пределах, которые поставлены разуму и чувствам. Обманы зрения автор анализирует на языке сравнительного опыта, призывая на помощь осязание и здравый смысл: даже если палец и гора кажутся одного размера, жизненный опыт подсказывает, что гора все-таки больше.

Теоремы четвертой книги развивают эти положения. Доказывается (со ссылкой на Альхазена), что только величины, воспринимаемые зрением *посредством оппозиции*, позволяют судить об истинных размерах рассматриваемых тел. Все видимое, наклоненное к линии зрения, видимо меньшим самого себя (теорема 26, рисунок 21.14, где очевидно уменьшение зрительного угла при косом наблюдении). Это справедливо, если предмет разворачивается относительно ближайшего к наблюдателю конца. Для отрезков, расстояние до которых больше длин самих отрезков, эта оговорка не требуется, а вот для больших объектов на малых расстояниях — существенна.

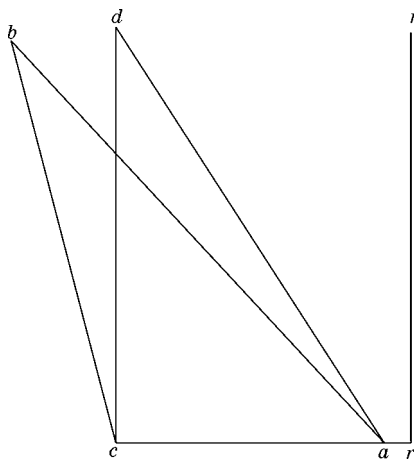


Рис. 21.14

Открытый Евклидом закон зрительных углов сформулирован в нескольких теоремах: «Все видимое под одним и тем же углом, если расстояние от одного предмета до другого не определяется, видится равным» (теорема 19, ссылка на седьмую гипотезу из «Оптики» Евклида); «Все, что видится под большим углом, видится больше, а что под меньшим — меньше. Из чего явно, что одно и то же, видимое под большим углом, показывается больше себя самого, видимого под меньшим углом. И в целом через пропорцию углов является соотношение размеров вещи, видимой прямо или под одним и тем же углом» (теорема 20, ссылка на пятую и шестую гипотезы из «Оптики» Евклида).

При всей тяжеловесности формулировок ясно, что в первом случае речь идет о разноразмерных отрезках, которые кажутся равными, а во втором — об одинаковых, воспринимаемых различными. Используя построения Фалеса для подобных треугольников, автор доказывает соответствующие пропорции углов и дистанций. Уточняется, что ракурсы сравниваемых предметов должны быть одинаковыми.

Важной для ренессансных дискуссий о художественной перспективе является теорема 21, также опирающаяся на Евклида. Здесь говорится об отрезках горизонтальных параллельных линий, уходящих вдаль, которые кажутся «как бы встречающимися позади удаленных от точки зрения концов,

однако они никогда не могут быть видимы встречающимися» (рис. 21.15). Доказательство строится на уменьшении зрительного угла по мере движения от передних концов параллельных отрезков к задним. Именно эти рассуждения в отсутствие понятия математической бесконечности породили уже в эпоху Возрождения мнение о том, что Вителло якобы отрицал наличие единого центра схождения ортогоналей (прямых, параллельных линии зрения). Так считали, например, Франческо Мавролик и Джованни делла Порта.

Следующая, 22 теорема (четвертая гипотеза из «Оптики» Евклида) опять-таки имеет прямое отношение к линейной перспективе. Здесь речь идет о зрительном уменьшении расстояний между равноотстоящими параллелями, рассматриваемыми *в оппозиции*.

На основе уменьшения зрительных углов утверждается, что «промежутки между линиями кажутся зрению меньшими для удаленных пар по сравнению с ближайшими» (рис. 21.16).

Совокупность этих положений в свое время послужила основой для открытия классической схемы построения перспективы. Напомним, что знаменитые шахматные полы на полотнах художников Ренессанса, по Альберти, строились так (рис. 21.17): выбирался уровень горизонта H , на нем отмечался перспективный центр схождения ортогоналей P , вбок от него откладывалась дистанция зрения D , к которой стягивались диагонали. Точки пересечения ортогоналей и диагоналей отмечали уровни, через которые и проводились зрительно сближающиеся, а на самом деле эквидистантные, горизонталы. Преемственность перспективных построений от Евклида и Вителло до Брунеллески и Альберти не вызывает сомнений.

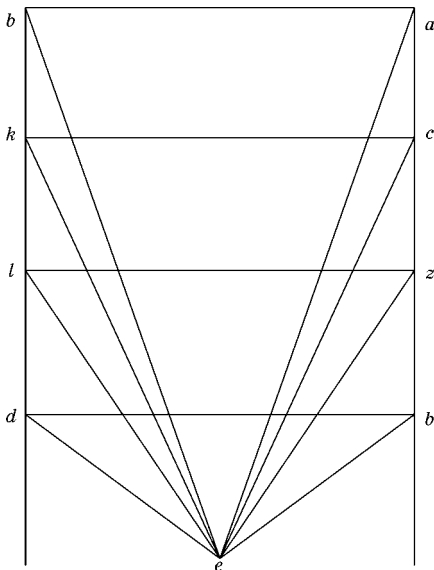


Рис. 21.15

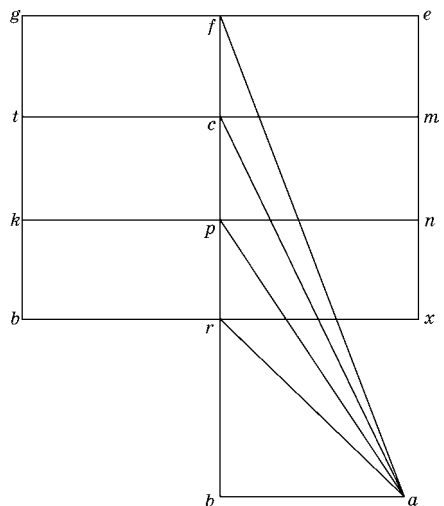


Рис. 21.16

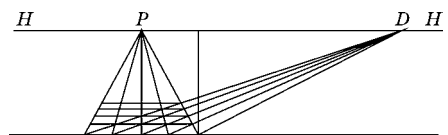


Рис. 21.17

Теорема 24 посвящена боковому рассматриванию разделенного на равные части отрезка, параллельного линии, соединяющей центры глаз (рис. 21.18). Для доказательства их зрительного сокращения через концы отрезка и глаз наблюдателя (точка e) проведена окружность. Через точки деления отрезка на три равные части проведены вспомогательные линии, параллельные зрительной оси. Точки c и h отсекают на окружности равные хорды, которые и сравниваются с дугами fd и la , на которые опираются зрительные углы. Становится очевидным, что отрезок ab визуально воспринимается меньшим, чем равный ему отрезок gd .

Пропуская ряд интересных утверждений, укажем, что в теореме 27 со ссылкой на Альхазена обсуждается понятие *способность различения*, которая только и может «схватить подлинный размер вещей». Далее говорится об истинном постижении предмета с должного расстояния, когда срабатывает способность увидеть его минимальные части. Формулировка, если не по форме, то по сути весьма близкая к современному определению оптической разрешающей способности.

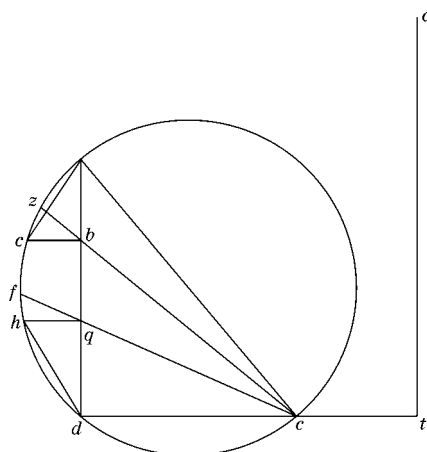


Рис. 21.18

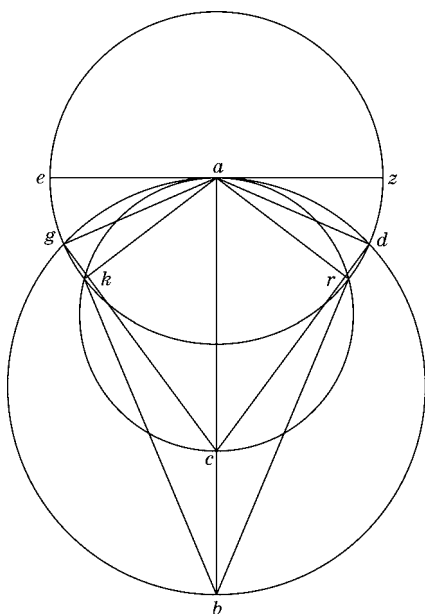


Рис. 21.19

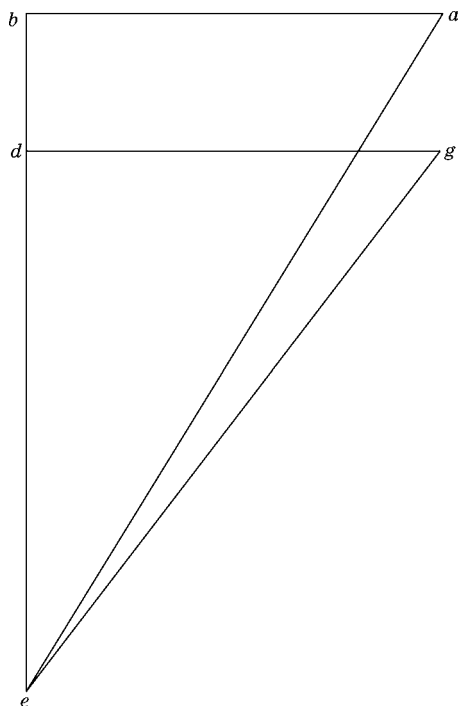


Рис. 21.20

Говоря о зрительных обманах, Вителло, например, замечает, что если зрачок и некая дуга окружности оказываются в одной плоскости, то последняя видится прямой линией. А у сферы при ближайшем рассмотрении видится часть поверхности меньше ее половины, но под большим углом (рис. 21.19). Подобные примеры можно продолжать. Визуальным искажениям размеров и форм посвящены десятки теорем.

Завершается книга иллюзиями движения. Наблюдение с фиксированной позиции за телами, движущимися параллельно с равными скоростями, создает впечатление, что ближайшее тело движется быстрее (рис. 21.20). Отдельно исследуются относительные перемещения предметов, если движется сам наблюдатель.

Многие из приведенных рассуждений могут показаться тривиальными, однако при внимательном рассмотрении в них нетрудно заметить искреннее желание автора осознать, как с учетом существенных особенностей механизма зрения у человека формируется адекватное описание действительности.

КАТОПТРИКА — НАУКА ОБ ОТРАЖЕНИЯХ. КНИГИ V–IX

22.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИНОЛОГИИ. ПЛОСКИЕ ЗЕРКАЛА

Пятая книга открывает катоптрическую часть трактата, посвященную свойствам зеркал: «Исследовав в известной степени то, каковы существуют непреложные свойства простого и прямого видения и его зрительные обманы, ныне остается, чтобы мы проследили способ видения, который бывает через отражение от полированных тел, называемых зеркалами, и трактовали о типах отражений от всяких существующих зеркал. Итак, в пятой книге мы предположим то, что считаем общим для всех зеркал; потом добавим претерпевания, которые происходят с вещами и зрением только от плоских зеркал, каковых форма проще других; вследствие чего и претерпевания плоских зеркал общие с некоторыми другими, как будет явствовать в последующих книгах». Сделана и специальная оговорка, что речь пойдет не только о зеркальных поверхностях, «сформированных и отполированных посредством ремесла, но и о естественных телах».

Любопытными представляются рассуждения о том, существуют ли отраженные образы в том случае, когда наблюдателя нет: «Мы мыслим, что отражение бывает не только к зрению живых существ, но также отражение образов случается и когда само зрение не наличествует». Видим мы отраженные образы только тогда, когда «зрение размещается в надлежащем месте». Эти высказывания суть отголоски античных и средневековых дискуссий на темы «Существуют ли звуки, если их никто не слышит?» или «Возникают ли зримые образы, если нет наблюдателя?». Вителло стоит на позициях объективного существования зеркальных изображений помимо субъекта видения.

Далее развивается мысль о более сложном характере отраженных образов по сравнению с полученными непосредственно от предмета. «В восприятии отраженных образов органом зрения есть некое своеобразие, особенно в тех отражениях, где есть обман зрения». В отражениях проявляются свойства не только предмета, но и самого зеркала: «Образ, полученный отражением,

не может быть постигнут так, как воспринимается при прямом простом видении... В отражениях от любых зеркал свет и цвет видимого тела всегда смешиваются с цветом зеркала, каковую смесь и воспринимает зрение». Отражение может скрывать подлинное видение вследствие «слабости цветов и светов» — это намек на роль качества приготовления зеркальной поверхности. Неслучайно список постулатов пятой книги открывается определением гладкости как «связности частей тела без чувствительности к порам и разделениям» и рассуждениями о степени приближения реальной поверхности к идеально отполированной. Само зеркало описывается как тело, поверхность которого «отполирована трудом искусства или природы». В определениях пятой книги впервые возникает термин *изображение*, и вводится он как обозначение специфики отраженных образов: «Изображение есть образ, постигаемый в зеркале». Поиску мест локализации изображений для различных положений предметов и формы зеркал посвящена значительная часть пятой и последующих книг. Эти места определяются как точки за поверхностью зеркала, в которых видятся отраженные образы. По заданным положениям источника света и глаза наблюдателя ведется поиск блестящих точек на поверхностях различных зеркал, в которых происходят отражения. После описания линий падения и отражения, точек падения и перпендикуляров к зеркальным поверхностям в определении 7 формулируется первая часть современного закона отражения: «Линии падения, отражения и перпендикуляр, воздвигнутый в точке падения, лежат в одной плоскости». Это нетривиальное утверждение приведено без доказательства, но с указанием, что оно было известно еще греческим и арабским ученым.

Вспомогательные перпендикуляры, проводимые из точек, где начинается падающий луч и заканчивается луч отраженный, названы *катетами падения и отражения* соответственно. Они играют существенную роль в геометрических доказательствах последующих теорем. Что касается определений для *углов падения и отражения*, то общепринятое сегодня правило их отсчитывания от перпендикуляра имеет сравнительно короткую историю. Многие века, и рассматриваемый трактат тому подтверждение, эти углы отсчитывались от поверхности зеркала до лучей (в нынешней терминологии — углы скольжения). Вслед за Вителло будем употреблять эту несовременную, но исторически оправданную формулировку.

Теоремы пятой книги, общим числом более 60, открываются заимствованным у Альхазена утверждением, что для фиксированной позиции наблюдателя точка отражения единственна и всегда лежит между основаниями катетов (рис. 22.1). Методика ее поиска для плоского зеркала была хорошо разработана: катет падения продолжался за зеркало, на нем откладывалось расстояние, равное дистанции от предмета до зеркала, после чего в полученную точку проводилась прямая из окончания линии отражения. Пересечение поверхности зеркала и этой прямой как раз и

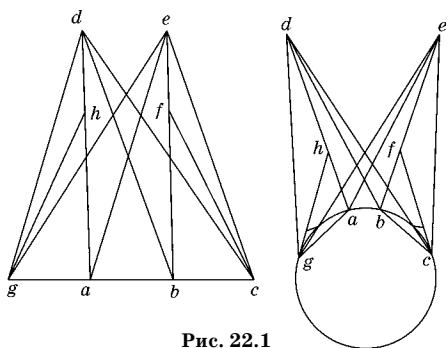


Рис. 22.1

было искомой блестящей точкой. Вителло в точности следует за аналогичными построениями Альхазена для плоского зеркала. Выводы из этого закона для отраженных образов протяженных предметов излагаются в теоремах 52–56, подводя итог всему, что на эту тему написали Евклид, Птолемей и Альхазен:

Теорема 52. *В плоских зеркалах очертания фигуры видимой вещи и расположение ее частей согласно величинам длины и ширины не изменяются. Изображение какой-либо вещи в плоском зеркале равно образу вещи извне (рис. 22.2) (Альхазен, «Сокровище оптики», II, 6).*

Теорема 53. *Глубины и высоты видятся в плоском зеркале перевернутыми, когда стоят перпендикулярно поверхности зеркала (рис. 22.3) (Евклид, «Катоптрика», 7).*

Теорема 54. *Длины видятся в плоских зеркалах наклоненными точно так же, как выглядят извне (рис. 22.4) (Евклид, «Катоптрика», 7).*

Теорема 55. *В плоских зеркалах правое видится левым, а левое — правым (рис. 22.5) (Евклид, «Катоптрика», 19).*

Теорема 56. *Возможно такое расположение плоского зеркала, что рассматривается не видимое собственное изображение, а изображение другой вещи, прямо не видимой (Птолемей, «Катоптрика», II, 9).*

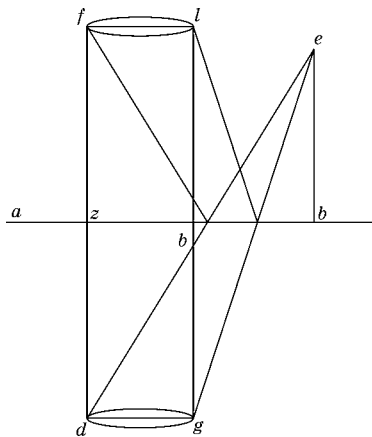


Рис. 22.2

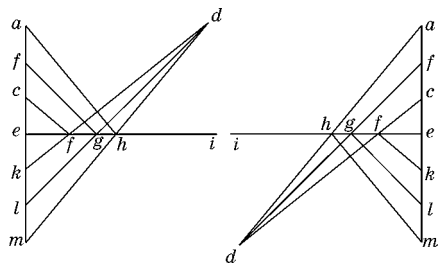


Рис. 22.3

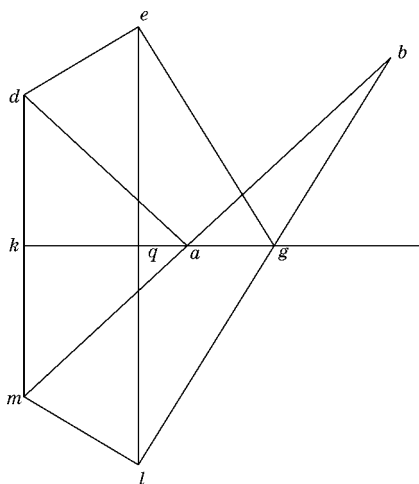


Рис. 22.4

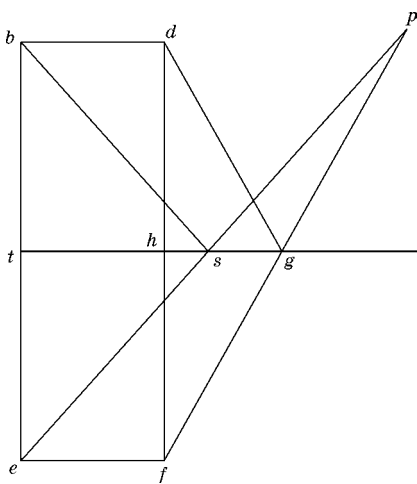


Рис. 22.5

Последнее утверждение Птолемея включено в перечень основных теорем для обоснования описываемых далее одно- и многозеркальных иллюзий. Забавы с плоскими зеркалами для рассматривания обычно невидимых частей тела или скрытых предметов имеют античные корни и не поощрялись церковью. Увлечения зеркальными лабиринтами и шкатулками еще впереди (XVIII в.), но в трактате Вителло даны оптические закономерности многократных отражений. Доказывается, что выстраивание из плоских зеркал правильных многоугольников позволяет рассматривать последовательность изображений одного предмета, расположенных в той же плоскости (рис. 22.6). Приводится верное собственное наблюдение Вителло (теорема 62): в системе плоских зеркал видимое расстояние от конечного изображения до центра зрения равно сумме всех линий падения. Для доказательства этого утверждения делается почти современная иллюстрация (рис. 22.7): строятся два изображения точки b в двух зеркалах lm и kd . Специальная пластинка pg заслоняет предмет b от прямой видимости наблюдателем a . В результате длина линии визирования второго изображения sa очевидно равна сумме отрезков be , ed и da . Заметим, что расчетные приемы выпрямления оптической оси, изломанной на последовательности зеркал, применяются и сегодня.

Вершиной рассуждений пятой книги можно считать теорему 63 для произвольного числа зеркал, опирающуюся на высказывание из второй книги «Катоптрики» Птолемея. В ней говорится о расстоянии от конечного изображения до точки зрения как об итоговой сумме составляющих промежуточных расстояний и об инверсиях правое/левое в зависимости от числа зеркал N : при нечетном N правое кажется левым и наоборот, а при четном N —

правое и левое в конечном изображении остаются на своих местах. Рисунок 22.8 демонстрирует схему отражений в системе из трех зеркал, для которой итоговое изображение mn отрезка bg , рассматриваемое наблюдателем a , обладает свойством инверсии. Сами зеркала на рисунке не показаны, их плоскости содержат линии kf , hc и el .

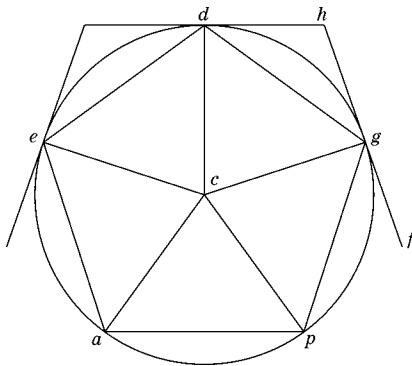


Рис. 22.6

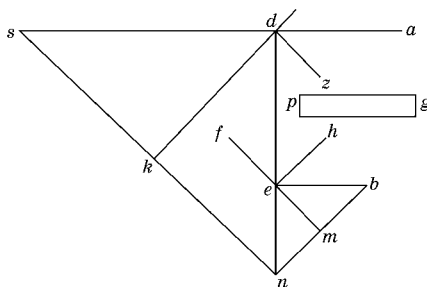


Рис. 22.7

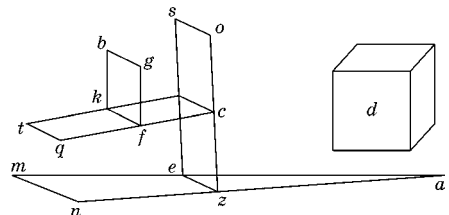


Рис. 22.8

22.2. ВЫПУКЛЫЕ ЗЕРКАЛА

Шестую книгу фундаментального труда Вителло можно считать основной. Описание свойств выпуклых сферических зеркал занимает более 60 страниц с большим числом иллюстраций. Определения и теоремы предваряются рассуждениями о том, что претерпевания в выпуклых зеркалах сложнее, чем в плоских, но проще, чем в вогнутых. Наряду с общепринятыми терминами (диаметр, центр, касательная) вводится ряд дополнительных: *визуальный диаметр* — линия от точки зрения до поверхности зеркала, проходящая через его центр; *отрезок соприкосновения* — часть одного из катетов между поверхностью зеркала и пересечением с касательной к зеркалу в точке отражения и т. п.

Раздел теорем начинается утверждениями относительно «общего основания пирамиды видения и поверхности зеркала» — т. е. видимой из данной точки части поверхности зеркала. Доказывается, что эта поверхность меньше полусферы и сужается при приближении позиции наблюдателя к зеркалу. Затем подробно разбирается основной вопрос — о локализации изображений в выпуклом сферическом зеркале. Автор утверждает (теорема 11 (Евклид, «Катоптрика», 17; Альхазен, «Сокровище оптики», V, 3 и 6)), что место испускания отраженных образов лежит в точке пересечения d продолжений за зеркало двух прямых — катета падения afn и линии отражения bg (рис. 22.9). В отсутствие каких-либо представлений о расчете оптической силы зеркала, параксиальном приближении или сферических абберациях этот подход оказывается весьма продуктивным, хотя и неточным. Благодаря такому определению удастся получить многие правильные и важные выводы: изображения оказываются всегда уменьшенными и тем сильнее, чем меньше диаметр зеркала (рис. 22.10); изображение тем меньше, чем дальше предмет или чем больше угол падения (рис. 22.11); при приближении предмета к зеркалу по

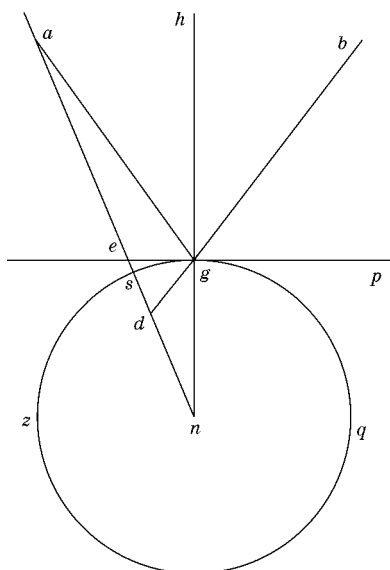


Рис. 22.9

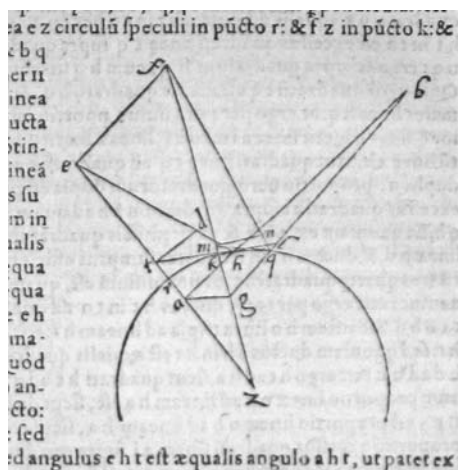


Рис. 22.10

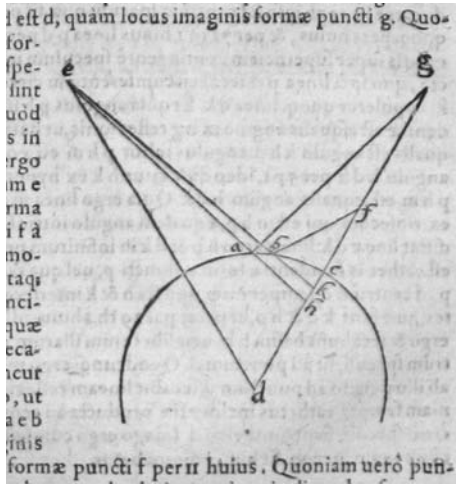


Рис. 22.11

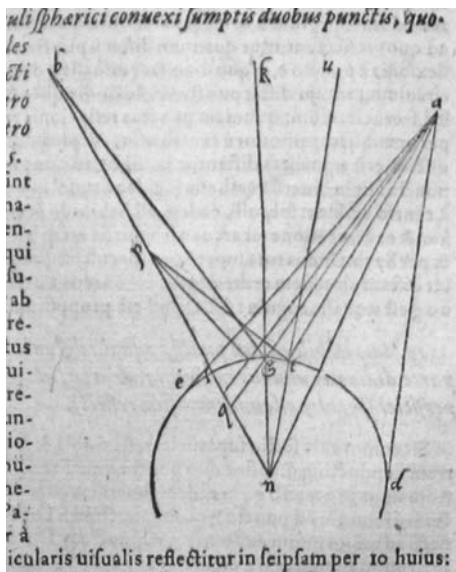


Рис. 22.12

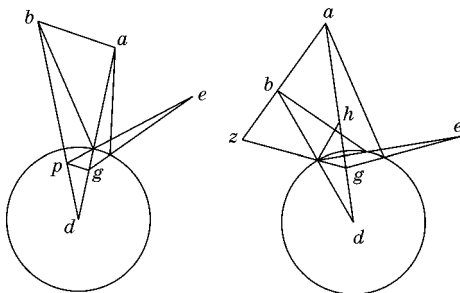


Рис. 22.13

одной линии падения или по одному катету падения изображение для фиксированного наблюдателя смещается от центра к поверхности зеркала (рис. 22.12) и т. п.

Утверждение об уменьшенных изображениях отрезков прямых линий обсуждается отдельно с рассмотрением различных ориентаций отрезков относительно выпуклого зеркала (рис. 22.13): «На всяком расстоянии, на котором зрением могут восприниматься точные размеры вещи, изображение видимой вещи в сферическом выпуклом зеркале видится меньше, чем образ вещи извне». Эта теорема 39 Вителло базируется на теореме 21 из «Катоптрики» Евклида и теореме 5 из второй книги «Сокровища оптики» Альхазена.

В рамках сделанных предположений легко доказывается и основное свойство сферических зеркал, справедливое при падении лучей на поверхность зеркала почти по нормали (в параксиальном приближении): для удаленных точек изображение локализуется на четверти диаметра или половине *полу диаметра* (словом «радиус» в средневековой латыни обозначали *луч*). Доказательство такого *предела области изображений* есть не что иное, как вывод о фокусных расстояниях зеркал, равных половинам их радиусов. Напомним, что окончательные формулировки этих соотношений для выпуклых и вогнутых зеркал принадлежат Иоганну Кеплеру и были изложены в его труде «Дополнения к Вителлию».

Поверхностный анализ предложенной методики нахождения изображений в сферическом зеркале показывает его недостаточность, особенно для малых углов падения (по терминологии Вителло). Это проявляется в определении пределов области изображений. Для углов, меньших 30° , изображения нередко вообще оказываются

перед зеркалом. Это понимали и сами средневековые авторы: «Если часть линии отражения, проведенная внутри окружности, равна полудиаметру (что как раз соответствует углу в 30°), то все изображения еще будут внутри зеркала» (рис. 22.14). Для удаленных предметов, рассматриваемых под меньшими углами, изображения повисают вне зеркала (рис. 22.15). Подробный анализ этой методики поиска мест локализации отраженных образов, заимствованной арабскими и латинскими учеными из греческих трактатов, проводился в предыдущей книге нашей монографии, посвященной Античности [76].

Завершает Вителло шестую книгу трактата рассуждениями о том, что более удаленное от центра зеркала искривленное изображение одной и той же видимой дуги кажется более искривленным (теорема 60) и что в результате все предметы в сферическом зеркале приобретают *бочковидный* облик (теорема 61). Приводится специально подобранный пример (теорема 62), когда кривая линия в сферическом зеркале кажется прямой.

Содержание шестой книги по объему и рассмотренной тематике уступает аналогичному разделу «Сокровища оптики» Альхазена. В частности, опущены построения для поиска блестящих точек в различных конфигурациях расположения источника света и глаза наблюдателя. По-видимому, Вителло посчитал эти построения слишком сложными для восприятия малоподготовленными читателями, тем более что в общем случае задача эта в принципе не могла быть решена с помощью циркуля и линейки.

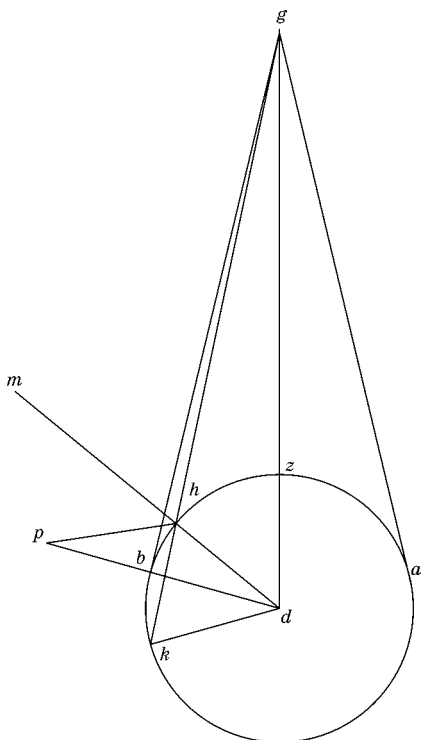


Рис. 22.14

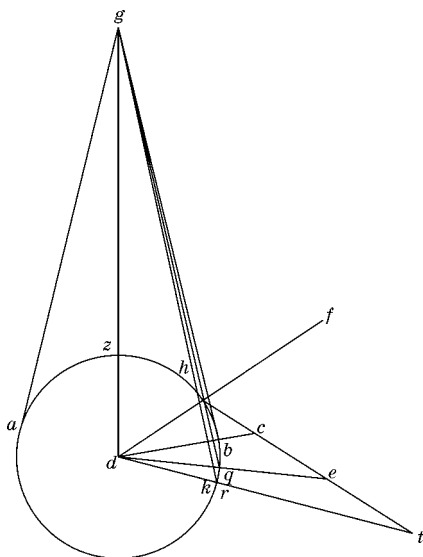


Рис. 22.15

Седьмая книга трактата посвящена претерпеваниям в выпуклых цилиндрических и конических зеркалах. Несмотря на то что форма этих зеркал математически сложнее, чем сферических, Вителло, следуя традиции, рассматривает их свойства перед тем, как перейти к вогнутым сферическим зеркалам. Обоснование такого порядка рассмотрения заключалось в единообразии отражений от любых выпуклых зеркал. По мнению античных и средневековых оптиков, видимые образы в таких зеркалах несравненно проще тех, которые образуются при отражениях от вогнутых поверхностей. Во всех выпуклых отражателях изображения уменьшенные и прямые (не перевернутые), хотя и могут быть искажены в своих пропорциях. Вогнутая поверхность в зависимости от дистанций до предмета создает большее разнообразие — здесь и увеличение прямых образов, и уменьшение перевернутых, и даже их исчезновение в особых точках.

Поскольку цилиндр и конус суть тела вращения плоских прямоугольников и треугольников, то такие зеркальные поверхности заключают в себе, по мнению Вителло, некую комбинацию свойств плоских и сферических зеркал. Проявление этих аналогий он усматривает в различных сечениях цилиндров и конусов. Так, если плоскости падения лучей (сами лучи и перпендикуляр к зеркалу в точке падения) проходят через оси цилиндра или конуса, то в формировании отраженных образов Вителло усматривает сходство с отпечатками в плоских зеркалах. Если же отражения происходят в плоскостях, перпендикулярных осям цилиндров или образующим конусов, то наблюдается подобие претерпеваниям в сферических зеркалах. В общем случае изображения оказываются искаженными из-за переменной кривизны зеркал в различных плоскостях, на что указывает Вителло в основных теоремах седьмой книги.

Широкого практического применения зеркала таких форм не приобрели ни в те времена, ни позже. Исключением являются развлекательные иллюзии и анаморфические забавы. Средневековые рассуждения на эти темы были исключительно схоластическими, поскольку никакого математического аппарата для анализа искажений-аббераций еще не существовало. Все это позволяет опустить содержание остальных аксиом и теорем этой книги без ущерба для дальнейшего рассмотрения трактата.

22.3. ВОГНУТЫЕ ЗЕРКАЛА

Восьмая книга «Перспективы» целиком посвящена вогнутым зеркалам. Вителло выделяет их из всех прочих разнообразием типов отражений, а также «чудесным распространением естественных образов и многообразными обманами смотрящих органов зрения». К таким обманам он относит переворачивание образов в вогнутых зеркалах при их удалении от наблюдателя. Вителло указывает, что при разглядывании себя в вогнутом зеркале, поставленном близко, мы видим свое прямое увеличенное изображение. Но при удалении от зеркала происходит нечто странное — отражение разрастается, на некоторой дистанции расплывается и исчезает, а затем предстает перевернутым и уменьшенным. Автор дает специальное название этим образам: «Перевернутым мы называем то изображение, которое изменяет положение вещи

целиком, как если бы голова смотрящего, которая наверху, была бы видима внизу; и сообразно с этим меняется все положение частей изображения с точки зрения частей видимой вещи».

Заметим, что здесь впервые речь идет о действительных изображениях, в отличие от мнимых, образуемых плоскими и выпуклыми зеркалами. Пройдет не одно столетие, прежде чем с позиций геометрической оптики будет сформулировано принципиальное различие между изображениями, которые строятся пересечениями реальных лучей, и образами, формируемыми пересечениями продолжений лучей за зеркало. Для Вителло эта разница остается лишь внешней: мнимые изображения прямые, а действительные — перевернуты.

Теоремы восьмой книги о свойствах вогнутых сферических зеркал весьма разнообразны. Здесь и рассуждения об общем сечении основания зрительной пирамиды и самого зеркала; о существовании точек зрения относительно зеркала ag , при которых глаз b сам себя не видит (рис. 22.16); о нахождении точек на отражательной поверхности, через которые свет из одной точки на диаметре зеркала попадает в другую, фиксированную, и т. п. Несколько теорем посвящены искажениям формы отражений отрезков прямых линий в вогнутых зеркалах; обсуждаются выпуклости и другие искривления, наблюдаемые «в некоторых положениях».

Из всего многообразия теорем следует выделить ту, которая хотя и не связывается автором прямо с переворачиванием изображений, но свидетельствует, что он понимал важные особенности

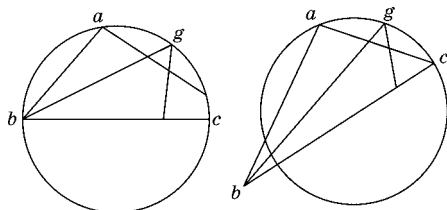


Рис. 22.16

сферических вогнутых зеркал. Речь идет об их способности собирать световые лучи, формируя при этом действительные перевернутые изображения. Теорема звучит так: «Если в сферическом вогнутом зеркале точка видимой вещи будет между центром зеркала и периферией, то возможно, что в центре зрения встретятся линии отражения от различных точек зеркала».

В тексте доказательства Вителло справедливо указывает, что пересекаться в одной точке могут только лучи, отраженные малой частью всей поверхности сферического вогнутого зеркала. Сегодня мы называем их параксиальными (приосевыми) лучами. Широкий световой фронт, падающий на сферический отражатель, действительно не может сфокусироваться в точку — мешает сферическая аберрация. Поскольку истинные причины этого явления начнут проясняться в XVII в., познания Вителло в этом пункте можно считать исчерпывающими.

Характерно, что саму способность вогнутого зеркала частично фокусировать линии отражения Вителло связывает не столько с формированием образов, сколько со свойствами зажигательных зеркал.

Девятая книга «Перспективы» посвящена вогнутым зеркалам несферической формы. По традиции, Вителло сначала рассматривает цилиндрические и конические отражатели, однако деформации образов и другие претерпевания в них его мало занимают. Отдав дань обычным рассуждениям об

общности и различиях изображений в произвольных сечениях вогнутых цилиндров и конусов, автор переходит к теме о зажигательных зеркалах.

Приступая к этой проблеме, он отмечает «усердие и терзания античных геометров, которые были направлены на поиск формы сжигающих зеркал, от поверхности которых идет отражение света и падающих образов к одной естественной или математической точке». Здесь важны два момента. Во-первых, Вителло уточняет, что задача состоит в поиске такой формы отражающей поверхности, которая действовала бы согласованно, наиболее эффективно, как единое целое. Во-вторых, он объединяет через союз *и* отражение света и отражение образов, что само по себе замечательно. Косвенно это указывает на понимание автором общности искомой точки, в которой не только фокусируются лучи, но и переворачиваются образы. Задача создания зажигательных зеркал так увлекает Вителло, что он декларирует поиск ее решения как «благороднейшую цель, к которой в известной степени выстраивается все, что мы предпослали природе каких бы то ни было зеркал». Он ого-

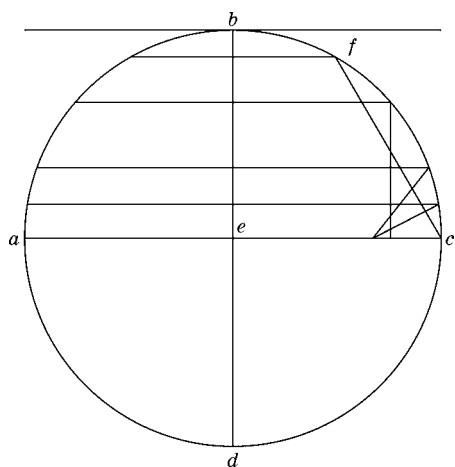


Рис. 22.17

варивается, что из предыдущих теорем явствует невозможность создания таких устройств на основе плоских и любых выпуклых поверхностей. От вогнутых сферических зеркал к одной точке направляются лишь лучи, отраженные малой частью всего зеркала — «периферией одной из окружностей», или, говоря современным языком, кольцевым поясом одного радиуса (рис. 22.17). Для таких зеркал, как пишет Вителло, «не бывает отражений к одной точке всех параллельных лучей, падающих к поверхности вогнутого сферического зеркала; но от всей периферии одной окружности идет отражение к одной точке полудиаметра *се*. В этих точках идет сжигание некоей горючей материи, но слабое и с промедлением». Далее он указывает, что для этой цели тем более не подходят вогнутые цилиндрические или конические зеркала. И следом советует воспользоваться комбинацией нескольких сферических зеркал, не уточняя сути этой конструкции, но утверждая, что от нее лучи могут собираться лучше и «сжигание укрепит-ся». Поскольку и такой результат его не удовлетворяет, перед заключительной частью книги он пишет: «Следовательно, остается, чтобы мы искали с основательностью другие подходящие поверхности, в которых бы светилась благодать человеческого ума и польза зримых образов». Сказано весьма поэтично и образно. Само нахождение уникальной формы для таких зеркал Вителло связывает с данной свыше благодатью человеческого разума, оснащенного знанием законов *Перспективы*. А их зажигательные свойства он трактует как практическую пользу от уменьшившихся до математической точки, сконцентрированных и многократно усиленных зеркальных образов.

варивается, что из предыдущих теорем явствует невозможность создания таких устройств на основе плоских и любых выпуклых поверхностей. От вогнутых сферических зеркал к одной точке направляются лишь лучи, отраженные малой частью всего зеркала — «периферией одной из окружностей», или, говоря современным языком, кольцевым поясом одного радиуса (рис. 22.17). Для таких зеркал, как пишет Вителло, «не бывает отражений к одной точке всех параллельных лучей, падающих к поверхности вогнутого сферического зеркала; но от всей периферии одной окружности идет отражение к одной точке полудиаметра *се*. В этих точках идет

Вслед за этими рассуждениями приводится подробный геометрический анализ конических сечений — эллипсов, гипербол и парабол. Из всех этих «неправильных» форм для целей зажигания Вителло (вслед за Диоклом, Птолемеем, Анфимием и Альхазеном) выделяет параболическую (рис. 22.18), после чего доказывает ее применимость для собирания параллельных лучей в точку.

В теореме 41 девятой книги Вителло фактически находит положение фокуса параболы: *quarta parti lateris recti* — одна четверть прямой стороны параболического сечения (точка z на рисунке 22.19), а в теореме 42 утверждает, что лучи, параллельные оси параболы, отражаются в эту точку под равными углами к касательной в точке падения. Совокупностью теорем 36–44 полностью доказано, что параболическая форма зеркала обеспечивает идеальные условия для фокусировки параллельного пучка лучей с целью зажигания (рис. 22.20). Точка максимальной концентрации лучей (она же — точка пересечения образов) определена вполне однозначно: для современного уравнения $y = x^2$ эта точка действительно находится на ординате $y = 1/4$. Помимо оптических свойств параболы, Вителло определяет и ее математические свойства как геометрического места точек, равноудаленных от найденной точки фокуса и прямой, перпендикулярной оси параболы. Позднее ее назовут директрисой параболы.

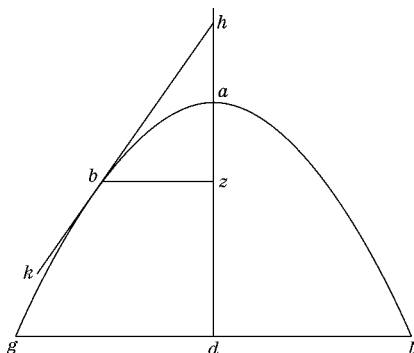


Рис. 22.18

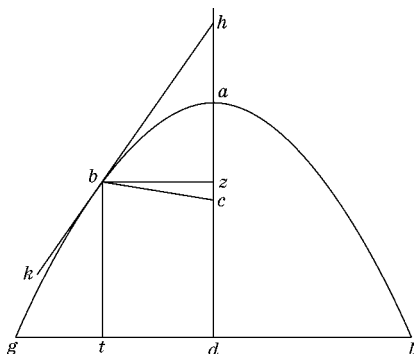


Рис. 22.19

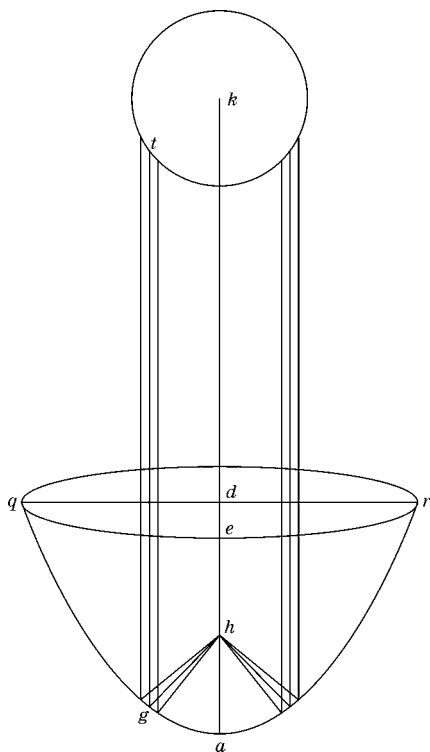


Рис. 22.20

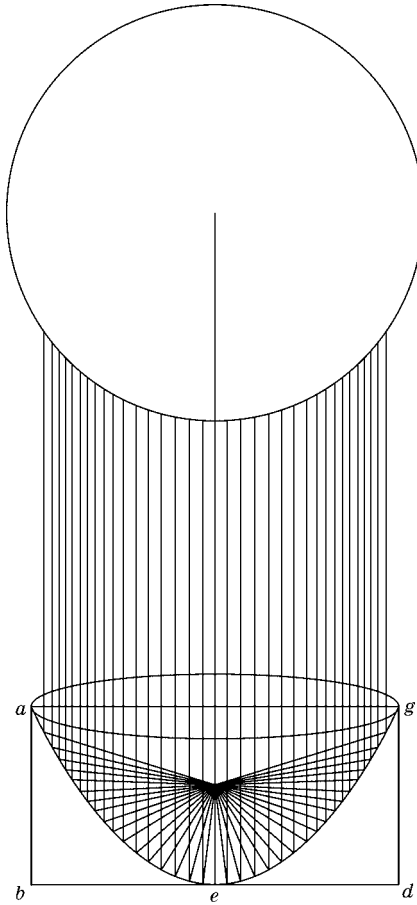


Рис. 22.21

Закончить цитирование девятой книги следует теоремой 43, в которой хотя и несколько тяжеловесно, но точно формулируются итоговые положения: «Вогнутое зеркало параболического сечения, противопоставленное основанием так, что ось его находится на прямой линии с солнечным телом, все лучи, падающие на зеркало равноудаленно (параллельно) оси, отражает к одной точке оси, удаленной от поверхности зеркала позади четвертой части прямой стороны этого параболического сечения. Из чего явствует, что от поверхностей таковых зеркал можно зажечь огонь» (рис. 22.21).

ДИОПТРИКА И МЕТЕОРЫ. КНИГА X

Последняя, десятая книга «Перспективы» целиком посвящена эффектам преломления. И здесь автор следует канонам изложения оптических явлений, принятым еще в Античности. Сначала исследуется прямое видение, затем катоптрика и уже после — диоптрика как учение о прозрачных средах, об их границах разной формы и о преломлении лучей — зрительных или световых, в зависимости от собственных предпочтений того или иного философа. Раздел оптики *метеоры*, охватывающий атмосферную оптику, космические эффекты типа Млечного Пути, комет и собственно метеоров, Вителло включил в эту же диоптрическую книгу, видимо, не считая эту тему самостоятельной. По нашему мнению, античный раздел *метеоров* не привился в средневековой *Перспективе* как отдельное учение из-за отказа от экстремистской теории зрения. Евклид и Птолемей в диоптрике рассматривали исключительно геометрические задачи преломления зрительных лучей, выходящих из глаз и формирующих смещенные и искаженные образы за границей раздела прозрачных сред. В метеорологическом отделе греческой оптики, где рассмотрению подлежали такие эффекты, как радуга или гало, было очевидно определяющее влияние световых (солнечных, лунных, звездных и т. п.) лучей. Поэтому книги по метеорам писались отдельно, после диоптрики. По той же причине (участие солнечных лучей) тексты по зажигательным зеркалам в Античности выносились за рамки катоптрики. В Средние века при трансформации оптики в *Перспективу* многое сохранилось и развивалось в античной традиции, но многое и изменилось — это, в частности, коснулось подчиненного положения раздела *метеоров* в общем учении о преломлении.

23.1. ТРЕТИЙ СПОСОБ ВИДЕНИЯ

Ввиду уникальности материала, изложенного в десятой книге «Перспективы», он рассматривается нами более подробно. Хотя многое об изломе лучей на границах прозрачных сред уже было обсуждено в разделе, посвященном механизму зрения, основной материал по рефракции Вителло поместил



Рис. 23.1
Фрагмент страницы трактата
«Перспектива» Вителло

видимой вещь, поскольку сообразно этому способу различным образом изменится действие естественных образов».

Последующее изложение посвящено различным случаям отклонения преломленных лучей, их зависимости от углов падения и отношения плотностей (прозрачностей) граничащих сред. В прамбуле Вителло указывает на частный случай преломления, когда, подобно вогнутым зажигательным зеркалам, плосковыпуклые или двояковыпуклые (в форме чечевичного зерна) прозрачные тела могут концентрировать солнечные лучи: «Достоинства естественных образов, накопленные посредством преломления, действуют сильнее, и образы действия более запечатлеваются в воспринимаемых телах. Откуда даже зажигается огонь из лучей солнца под сферическим прозрачным телом, более плотным, чем воздух или вода, как подо льдом или хрусталем». Здесь, как и в случае вогнутых зеркал, энергетическое действие собирающих линзоподобных элементов автор связывает с усилением зрительных образов.

По мнению Вителло, многочисленные образы солнца, собираемые в одну точку и усиленные за счет концентрации каждого из них, создают способность возжигать огонь. Это подтверждается его наблюдениями за обратным процессом — рассеянием лучей прозрачными телами другой формы, когда толщина среды в центре меньше, чем по краям: «Вообще собрание достоинств лучей звезд или других образов в одной естественной точке или вокруг нее будет более сильным действием; рассеяние же достоинств естественных образов ослабляет естественные действия: рассовокупленные добродетели действуют менее и слабее».

Вителло связывает степень преломления лучей с различием в *прозрачности* промежуточных тел, понимая под этим термином оптическую плотность среды: «Всякое претерпевание сообразно со способами какого бы то ни было преломления, происходящего в природе или в зрении, всегда бывает вследствие различия прозрачности средних тел между действующим и претерпевающим, или между зрением и видимой вещь». Здесь есть смысл прояснить одну терминологическую особенность — средневековые схоласты зачастую понятием «прозрачность» обозначали оптическую плотность среды, связывая ее в том числе и с удельным весом.

Из всех земных прозрачных сред как наименее преломляющую автор выделяет воздух. Он прозорливо указывает на меньшую плотность «вещества неба», готовясь к описанию атмосферной рефракции: «Из привычных нам прозрачных тел у воздуха прозрачность более разреженная (менее густая),

в конце трактата (рис. 23.1). В этом он следует традиции рассматривать преломленные образы как результат *третьего способа видения*, отличающегося от прямого видения и видения через отражение: «Остается, чтобы мы проследили третий способ видения, который бывает через преломление, совершаемое от нескольких прозрачных тел между зрением и ви-

чем у других, за исключением вещества неба, которое более разрежено, чем воздух, как мы покажем впоследствии».

Далее следуют уточняющие рассуждения, позволяющие почувствовать сложность положения автора. Не опираясь на точные соотношения преломляющих сил, он должен объяснять наблюдаемые сохранения или искажения зримых образов вблизи нагретых тел: «Здесь и в последующем трактате под именем воздуха мы допускаем и огонь: поскольку хоть между ними и есть формальное различие и разная разреженность в расположении вещества, но, однако, из-за него не происходит заметного различия в преломлении образов». Автор предполагает, что высший огонь небесных сфер и огонь земной, грубый суть разные по прозрачности (плотности) вещества. Этим Вителло будет объяснять приповерхностные искривляющие эффекты типа миражей и отсутствие преломления на верхней границе воздушной и огненной сфер: «Поскольку огонь, который у нас здесь низкий по рангу, то в грубом земном или водяном веществе следует за претерпеваниями других тел. Огонь же в своей сфере близок к воздуху и смежен с ним сообразно природе прозрачности, не имея отличной от воздуха поверхности, на которой было бы возможно воспринимаемое преломление. Воздух же насколько ближе к небу, настолько обладает более разреженной прозрачностью. Таким образом, нижайшее огня и высочайшее воздуха есть как бы одна прозрачность, в которой не может быть заметного преломления».

Поскольку хорошо различимые утром и вечером изменения размеров и формы пригоризонтных тел (солнечного и лунного дисков) нуждались в объяснении, оно находится в различии преломляющей способности *утяжеленного* водяными парами близкого к земле слоя воздуха. Так же в «Метеорологии» рассуждал Аристотель: «Есть, однако, некоторое различие преломления в более плотном и более разреженном воздухе, когда это различие плотности бывает ощутимо. Так в большей степени происходит в сгустившемся воздухе вблизи от земли и в наибольшей мере в предвечерних и утренних сумерках».

Что касается воды, то ее прозрачность, более густая, чем у воздуха, также не всегда одинакова. Замечая это, Вителло приводит убедительный и наглядный пример, применимый и сегодня: «Ведь теплые сернистые воды или воды соленые, как вода в море, обладают более грубой прозрачностью, чем другие — холодные, чистые, мягкие».

После упоминания о преломлении в твердых прозрачных телах — хрустале, берилле и других камнях — Вителло называет и какие-то «одушевленные» прозрачные тела, искажения от которых в книгу не включает. Возможно, он имеет в виду визуальные проявления сверхъестественных сил или видимые изменения окраски неких реальных организмов. Судить трудно, поскольку к этой теме он больше не возвращается: «Говорится же о некоторых одушевленных телах, которые прозрачны и расцветиваются цветами тех тел, над которыми стоят; претерпевания этих одушевленных тел мы не рассматриваем, поскольку они неправильной формы».

Завершается преамбула описанием границ раздела преломляющих сред. Поскольку далее Вителло будет говорить о влиянии их формы на силу преломляющих претерпеваний, он подробно описывает возможные случаи:

«Поверхность неба, которой достигает зрение, сферическая вогнутая; если она сечется некоей плоскостью, то общим сечением этих поверхностей будет круговая линия, вогнутость которой находится со стороны зрения. Поверхность воздуха, которая ее касается, — сферическая выпуклая со стороны неба. Поверхность воды — сферическая выпуклая со стороны зрения, формы стекол и прозрачных камней кругообразны, или плоски, или неправильны; их сечения будут или окружностями, или прямыми, или неправильными линиями, сообразно с различием каковых линий и поверхностей изменяется различие претерпеваний, которые достигают зрения».

Автор приводит список из 14 определений, касающихся третьего способа видения: самого преломления, точки, линии и поверхности преломления, перпендикуляра и катета падения, углов падения и преломления, а также преломленного образа и места его локализации. Среди строго геометрических, но тривиальных положений можно выделить два термина, использование которых нуждается в комментарии. Дело в том, что Вителло различает понятия *угол преломления* и *преломленный угол*, что для современного читателя необычно. Первое определение, которое для нас означает угол между преломленным лучом и перпендикуляром к границе раздела в точке падения, у Вителло означает угол между преломленным лучом и продолжением линии падающего луча, т. е. в нашем понимании это — угол отклонения. А вот *преломленный угол* и есть в современном понимании угол преломления.

Между определениями и последующими доказательствами теорем о преломлении Вителло помещает два допущения. Одно касается предположения о том, что свет солнца «некоторым образом видится наблюдателю в утреннее и позднее предвечернее время» не по прямым линиям. Второе допущение относится к виду радуги в ранние часы: ее форма при низком солнце постулируется полукруглой «с различными цветами». Оба допущения в похожих формулировках были известны в Античности: о преломлении лучей в атмосфере писали Евклид и Птолемей, а о полукруглой утренней радуге много рассуждал Аристотель в «Метеорологике» [76]. Вителло желает подчеркнуть, что эти эффекты — не геометрические дефиниции (они относятся к физике, а не к математике) и что доказывать их нет необходимости, поскольку они есть результат наблюдений, а не размышлений.

23.2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Раздел теорем открывается доказательством существования единой плоскости (*поверхности преломления*), содержащей в себе оба луча — падающий и преломленный — и перпендикуляр, проведенный через точку падения. Затем следуют четыре теоремы, в которых речь идет о количественных соотношениях между углами падения и преломления на плоских границах «воздух — вода», «воздух — стекло» и «вода — стекло». Все формулировки идентичны: «Величины углов преломления из воздуха (воды) к воде (или плоскому стеклу) обнаруживаются опытным путем».

После трижды повторенной в разных вариациях фразы мы встречаем в трактате Вителло экспериментальную таблицу зависимостей углов падения

от преломления для указанных сред, созданную Птолемеем и через Альхазена ставшую известной автору «Перспективы» (см. рис. 18.8). Поскольку эти данные подробно проанализированы в книге, посвященной Античности [76], и в 18 главе настоящей книги, здесь нет необходимости указывать на достоинства и недостатки таблицы. По-видимому, Фридрих Риснер вносил некоторые редакционные правки в ее формат (см. табл. 1), но сами значения углов сохранились полностью. Отсутствие какого-либо объяснения или комментария к этим данным не позволяет в этом пункте считать работу Вителло развитием оптических идей о преломлении. Здесь, скорее, сделан шаг назад по сравнению с работами Птолемея и Альхазена, тем более что при реверсировании направления лучей величины углов преломления, дополнительно введенные Вителло или Риснером, оказались недостоверными. Тем не менее автора «Перспективы» следует поблагодарить за компиляцию ранее полученных данных хотя бы потому, что именно из его труда о Птолемеевых таблицах узнали средневековые европейские ученые и студенты университетов. Когда в XVII в. Декарт и Снеллиус независимо друг от друга искали точный закон преломления, сравнивать результаты своих экспериментов они могли только с таблицей из «Перспективы» Вителло.

В теореме 9 десятой книги автор доказывает верное положение относительно результатов преломления в случае, если направления падающего и преломленного лучей меняются на противоположные: «Когда центр зрения и точка вещи, видимой через преломление в различных прозрачных средах, изменяют собственные места, одни и те же линии падения и преломления изменяют название». Перед нами несколько старомодная, но точная формулировка закона реверсирования направления световых пучков: при их обратном ходе источник и приемник меняются местами, а все траектории лучей сохраняются. Эта верная мысль сопровождается на страницах «Перспективы» второй частью таблицы преломления (которой не было ни у Птолемея, ни у Альхазена), где возникают значения преломленных углов, превышающие 90° (см. табл. 2 и рис. 18.8). Поскольку утверждается, что приводимые данные получены опытным путем, то возникает вопрос: кто и когда получил их и внес в текст «Перспективы»?

Как было показано ранее, исходная таблица углов падения и преломления Птолемея была результатом реальных наблюдений с использованием специально сконструированного устройства, различные варианты которого описаны Птолемеем и Альхазеном. Внимательное исследование числовых данных привело к выводу, что экспериментальные данные несколько корректировались Птолемеем, чтобы удовлетворять так называемой модели *постоянства вторых разностей*, или, говоря современным языком, параболической зависимости [76]. Фактически он подобрал весьма близкую аппроксимацию закона синусов квадратичной функцией. По понятным причинам это привело к заметному расхождению данных таблицы при больших углах падения (70° и 80°) при хорошем совпадении в диапазоне малых углов. За эту «подгонку» великому астроному Античности немало досталось от историков науки, однако его отклонения от истины кажутся детской шалостью по сравнению с фальсификацией данных второй части таблицы, появившейся в «Перспективе». Алгоритм составления этих псевдоданных очевиден. Брались

числа из прямой таблицы Птолемея (соответствующие падению лучей из менее плотной среды в более плотную: «воздух — вода», «воздух — стекло», «вода — стекло»), вычислялась разность между углом падения и преломления, а затем эта разность прибавлялась к углу падения. Таким образом, если в прямом ходе углы преломления меньше углов падения, то во вновь созданной обратной таблице (преломление лучей из воды в воздух, из стекла в воздух и из стекла в воду) все углы преломления оказались больше углов падения. Качественно это соответствует действительности, но количественно почти всегда неверно, а в некоторых случаях — абсурдно.

По определениям Вителло, название *преломленных углов* носят углы преломления, а термином *угол преломления* назван угол отклонения. Тогда представленный принцип формирования обратной таблицы оказывается следующим: для каждого угла падения углы отклонения в прямом и реверсивном ходе лучей оказываются одинаковыми по величине, но противоположными по знаку! Кажется логичным, что если бы автором второй части таблицы был сам Вителло, он не преминул бы сформулировать такой простой принцип в тексте одной из теорем или в разделе предположений и допущений. Но в тексте «Перспективы» такое правило отсутствует; более того, суть приведенной выше теоремы (о сохранении траекторий при перемене точки зрения и точки предмета) прямо ему противоречит. Такие данные могли быть порождены воображением человека, который превратно понял как текст последней книги трактата Вителло, так и данные Птолемея. Из чего можно сделать косвенный вывод, что вторая часть таблицы преломлений не принадлежит Вителло. Поскольку, кроме Риснера, практически никто не имел возможности корректировать издание 1572 г., подозрение в авторстве этих не совсем удачных (мягко говоря) дополнений падает именно на него. Подтвердить это предположение мог бы анализ полного содержания десятой книги «Перспективы» в варианте, изданном Танстеттером и Апианом, но этот текст, к сожалению, нам пока недоступен. Если же приведенная таблица преломлений в прямом и обратном ходе лучей составлена самим Вителло, то следует признать, что не только катоптрическая, но и диоптрическая часть трактата носит полностью компилятивный характер (соответственно из Альхазена и Птолемея), а собственные добавления польского схоласта не всегда удачны.

23.3. ОПТИКА МЕТЕОРОВ

Начиная с теоремы 61 десятой книги следует изложение традиционного с античных времен раздела оптики, названного *метеоры*. Сначала идут утверждения, что поверхности воды или «плотного воздуха из росистого пара» отражают лучи светоносных тел. Далее отмечается, что на этих же поверхностях наблюдается и преломление, причем с отклонением лучей в сторону перпендикуляра. Прямо указывается, что радуга, которая необходимо порождается в пористом (влажном) воздухе, «видится из отражения и преломления лучей светоносного тела». Теоремы 63 и 64, текст которых имеет смысл привести полностью, хотя и не содержат прямо терминов «радуга» или «гало», очевидно направлены на пояснение их округлых форм как сечения, перпендикулярного оси некоторого конуса. Сначала постулируется (теоре-

ма 63), что фигура испускания лучей (иррадиации) получается из условия равных углов падения на некую плоскость (читай — удаленный дождевой фронт): «Иррадиация всякого сферического светоносного тела на поверхности, равноудаленной от плоскости, касательной светоносного тела, может быть сообразна конусу, основание которого находится в иррадированном теле, вершина же — в центре светоносного тела. Из чего явствует, что иррадиация такого рода происходит по равным углам падения».

Доказательство ведется путем рассмотрения сечения лучевой пирамиды плоскостью, перпендикулярной ее оси (рис. 23.2). Затем (теорема 64) определяется единая прямая линия, на которой должны находиться центры светоносного тела, глаз наблюдателя и центр основания конуса, формирующего радугу или гало: «Если к одному и тому же центру зрения идет преломление или отражение света от некоторой поверхности, необходимо, чтобы край этого света падал к поверхности зрения кругообразно по конусу. Из чего явствует, что центр иррадирующего тела, центр зрения и центр окружности основания пирамиды иррадиации, преломленной или отраженной, должны находиться на одной и той же прямой линии».

Несмотря на лексическую тяжеловесность, смысл теорем понятен: не только отражение, но и преломление лучей в этом частном случае происходят по закону равных углов. Таким образом, формы светящихся метеоров (радуги, гало и т. п.) должны образовываться как геометрические места точек с одинаковыми углами визирования с позиции наблюдателя (точка b на рис. 23.3). Разница состоит в очередности этих центров: в одном случае центр зрения располагается между солнцем и центром цветной арки радуги, а в другом центр окружности гало находится между глазом наблюдателя и светилом (Солнцем или Луной). Такие же представления можно встретить в «Метеорологике» Аристотеля, но формулировки Вителло кажутся более общими. Кроме того, теоремы десятой книги «Перспективы» ориентированы на испускание отраженных или преломленных световых лучей от поверхностей взвешенных в воздухе водяных капель (радуга) или ледяных кристалликов (гало) к глазу наблюдателя, в то время как античные рассуждения строились на взаимодействии света и зрительных лучей, испущенных из глаза.

Далее следуют утверждение и соответствующий рисунок (рис. 23.4), посвященные цветам радуги. В отличие от многих предшественников и последующих авторов [138], [329], Вителло выделяет в основной радуге всего три

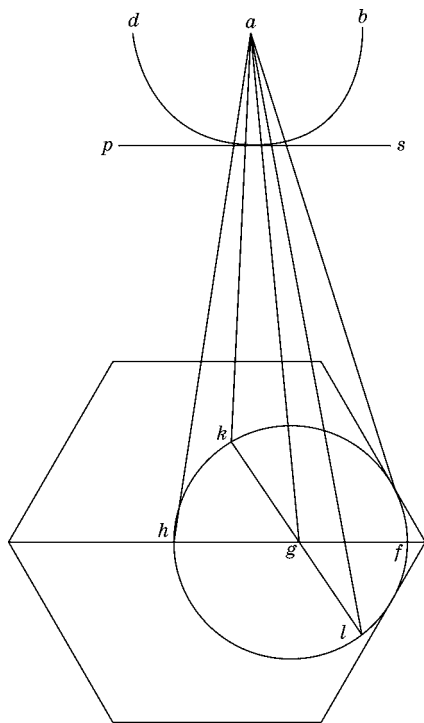


Рис. 23.2

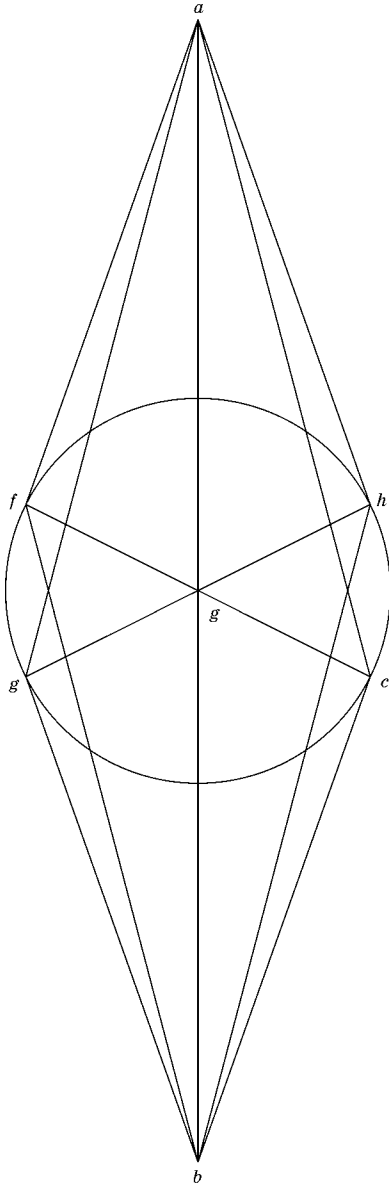


Рис. 23.3

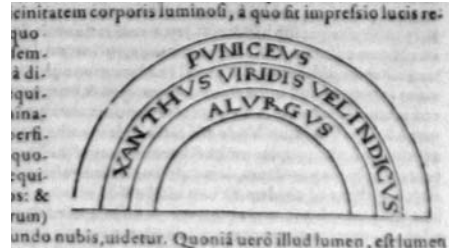


Рис. 23.4

цвета: «Всякая радуга трехцветна». Их латинские названия даются сверху вниз и переводятся с некоторыми оговорками. Первым (верхним) идет *puniceus* — красный или гранатовый. Средний пояс обозначен сложно — *xanthus viridis velindicus*, что может быть переведено как золотисто-желтый, зеленый и индиго. Почему это сочетание сведено в одну арку и названо одним цветом — непонятно. Наконец, нижний слой обозначен как *alurgus*, что одновременно может читаться и как фиолетовый, и как пурпурный. Очередность цветов в общем правильная, отсутствие чистого зеленого особо смущать не должно — действительно, в подавляющем типе радуг (их разнообразие велико и зависит от плотности дождя, размеров капель, высоты солнца и т. п.) собственно изумрудно-зеленый цвет почти не наблюдается. Таким образом, утверждается, что радужных цветов три, а не семь, как в современной трактовке. Налицо и некоторое противоречие с разработанными в Античности гармоническими рядами звуков и цветов.

Вителло не может обойти вопрос о вторичной радуге. Ее он справедливо размещает выше основной и отмечает обратное чередование цветов. Совмещая первичную

и вторичную радуги в плотную, он получает шестицветную арку (рис. 23.5), а выделяя между ними белый (*albus*) промежуток — семицветную (рис. 23.6). Здесь хотя и получилась магическая семерка, но, во-первых, чередования цветов реверсивно повторяются, а во-вторых, в этом ряду присутствует белый. Напомним, что он рассматривался как простой цвет (а не как смесь всех цветов радуги) вплоть до Ньютона и даже после него в критических статьях авторов альтернативных цветовых гипотез. Сами цветовые трансформации (например, при прохождении солнечного света через витражные стекла го-

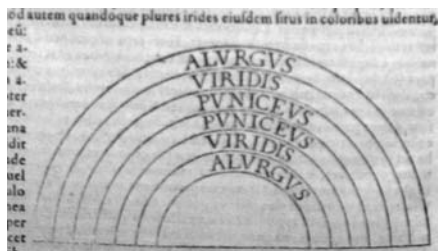


Рис. 23.5



Рис. 23.6

тических храмов) трактовались не как *вычитание* (селективное поглощение стеклом части спектра белого света), а как изменение свойств света за счет *прибавления* — приобретения новых качеств, заключенных в материале стекла. В подобной концепции естественно, что белый цвет мог рассматриваться в одном ряду с красным или синим.

Заключительные утверждения раздела о радугах, хотя и тривиальны и не нуждаются в особых комментариях, но верно характеризуют натурфилософский уровень средневековых описаний видимых явлений:

«Радуги порождаются только из солнечных и лунных лучей».

«Можно видеть не более двух радуг с различающимся расположением цветов».

«Во внешней радуге цвета внутренней видятся противоположными и более слабыми».

Здесь же приведены почти полностью заимствованные у Аристотеля [76] теоремы об особенностях геометрического расположения и вида радуги в зависимости от возвышения дневного светила:

«Явно, что никогда невозможно увидеть полную окружность радуги. Если центр светящегося тела находится в некоторой точке горизонта, то необходимо видима только полуокружность порожденной им радуги».

«Если центр светящегося тела существует в некоторой возвышенности над горизонтом, то, сообразно с повышением его, центр окружности радуги принижается под горизонт и часть радуги видится меньше полуокружности».

Следствием последней теоремы является справедливое утверждение о том, что, начиная с некоторой широты места, солнце, находящееся на юге (слишком высоко над горизонтом), никогда не может образовать радуги, которая в этом случае как бы располагается *под горизонтом* (рис. 23.7).

Последними из метеоров Вителло рассматривает венцы (гало), ветви (столбы, полосы) и паргелии. Про первые он замечает, что они формируются «кругообразно к зрению» из преломленного света Солнца, Луны или звезд первой величины при наличии между источниками света и наблюдателем «влажного, росистого пара». Светящиеся полосы, которые, как пишет Вителло, в народе называют «веревками для палаток», образуются из солнечных лучей,

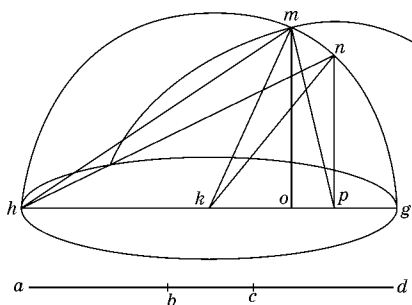


Рис. 23.7

преломленных к зрению от некоего облачного уплотнения, «неравным образом разделенного разреженностью и сгущенностью». В их описании автор употребляет выражения типа «протяжения лучей через облака», что наводит на мысль, что речь идет о *жезлах* [76]. Наконец, паргелии, или ложные солнца, Вителло описывает как изображения дневного светила, формирующиеся из отражения солнечных лучей к свету от «равномерного облачного уплотнения». Отличие двух последних метеоров друг от друга заключается, во-первых, в обратных направлениях отклонений (к зрению или к свету) и, во-вторых, в различном характере облачности — неоднородной для жезлов и равномерной для паргелиев. При всей наивности рассуждений налицо похвальное желание классифицировать наблюдаемые оптические эффекты с точки зрения геометрии распространения световых лучей и с позиций характеристик самой рассеивающей среды. Для объяснений влажных метеоров гипотезы о зрительных истечениях из глаз не привлекаются.

Три заключительные теоремы (82–84) посвящены описанию диоптрических экспериментов, которые могли ставить предшественники Вителло и сам автор «Перспективы». Первый касается использования прозрачного гексагонального кристалла, который, «будучи противопоставлен солнцу, порождает цвета радуги». Геометрические построения, основанные на преломлении лучей в рассеянных в холодном воздухе шестиугольных ледяных микропризмах, встречались в «Метеорологике» Аристотеля. Здесь речь идет о специально изготовленном макрокристалле, с помощью которого демонстрируется рукотворный аналог природного эффекта. В следующей теореме утверждается, что «под кругообразной стеклянной вазой, подставленной солнцу, цвета кажутся подобными цветам радуги». И здесь наполненный водой стеклянный артефакт заменяет дождевую каплю при демонстрации природы появления окраски при преломлении солнечных лучей. Хорошая параллель с цветовыми наблюдениями Роджера Бэкона в экспериментах с водяными брызгами фонтанов или с облачками пара изо рта. Результаты последнего простого опыта Вителло предлагает получить, погрузив на некоторую глубину под воду плоское зеркало. Утверждается, что образ солнца, видимый в такой системе, будет удвоен. Очевидно, что речь идет о двух рефлексах: отражении падающих лучей от верхней поверхности воды, которое формирует первое изображение солнца, и отражении преломленных лучей от самого зеркала, где и формируется второе изображение. При достаточной толщине водяного слоя (или небольшом наклоне зеркала) эти образы действительно будут видимы раздельно. То, что зрительные образы могут размножаться в системе нескольких зеркал, было известно во времена Архимеда и Герона. Удвоение образов при использовании одного зеркала, даже погруженного в воду, похоже, не казалось средневековым схоластам самоочевидным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы пятой части позволяют составить цельное впечатление о десятилетнем труде Вителло, посвященном всем проблемам, традиционно включавшимся в средневековую оптику — *Перспективу*. Теперь можно попытаться ответить на вопрос, вынесенный в заголовок: что же собой представляет этот фундаментальный труд — сдобренную латинской метафизикой бесплодную (по мнению многих) компиляцию античных и арабских идей или энциклопедический компендиум оптических знаний, оказавший позитивное влияние на дальнейшее развитие этой науки? Без ответа на этот вопрос нам не удастся не только прояснить персональный вклад Вителло как ученого и педагога, но и адекватно оценить схоластическую оптику Средних веков в целом.

Издание Риснером трактатов Альхазена и Вителло в едином томе обусловило целый ряд мнений, неприязненных в отношении последнего, которые просуществовали века и повторяются — по крайней мере некоторые из них — и по сей день. Тот факт, что труд Альхазена оказался в этом издании на первом месте, равно как и то, что некоторые рисунки и фрагменты текста были идентичны либо подобны в обоих трактатах, привел к общему убеждению в слепом следовании Вителло арабскому мыслителю. Этот взгляд надолго стал общепринятым, и только в XX в. в результате аналитических исследований текста «Перспективы» и сравнительного изучения обоих текстов отношение к великому польскому ученому изменилось.

Трактат Альхазена, несомненно, оказал влияние не только на Вителло, но и на Гроссетеста, Бэкона, Пеккама — всех известных средневековых ученых-оптиков. Но это не умаляет значимости трактата самого Вителло.

Уже с конца XIII в. труды обоих мыслителей — и Альхазена, и Вителло — занимают важное место в университетских библиотеках.

Дэвид Линдберг, накопивший богатый материал в виде первоисточников, системно представил их влияние на развитие оптики от XIV до XVII в. [255]. Он подчеркивает, например, что, как следует из уставов Оксфорда, с 1431 г. трактаты Альхазена и Вителло относились к литературе, обязательной для кандидатов в бакалавры, а в Краковском университете труды этих ученых рекомендовались в качестве базовых учебников.

Издатель «Сокровища оптики» Риснер во вступлении, датированном 1572 г., начинает с того, что «Вителлон идет за Альхазеном, как за проводником, хотя ранее обходил его, как неизвестного и ничего не говорящего, однако же, словно уяснив себе цену его модели, признает, что является учеником Альхазена». Под конец же своих рассуждений издатель утверждает: «Если считать творцом и основоположником науки того, кто знанию придал форму и дух, самым справедливым было бы признать Вителло основоположником науки об оптике». Для Риснера, таким образом, автор «Перспективы» достоин именоваться одним из творцов самостоятельной научной дисциплины — оптики.

С другой стороны, к концу XVI в. начинает складываться негативное мнение об этом опусе. Так, математик и астролог Джованни делла Порта в 1589 г. писал, что Вителло «всюду ошибался, когда отдалялся от других» [168], а в трактате 1592 г. даже назвал его «обезьяной Альхазена». Ян Пенна, ученик Рамуса (вдохновителя издания Риснера), заметил о труде Вителло,

что он «столь же велик, сколь нуден и странен». Похожие взгляды излагал математик из Мессины Франческо Мавролик.

Несмотря на такое критическое отношение к Вителло, его труд даже в начале XVII в. еще представлял определенную ценность. Выдающийся французский ученый Пьер Бейль в своем Историческом и критическом словаре упоминает Вителло и обходит молчанием не только Порту и Мавролика, но даже Альхазена и Коперника. Среди исследователей начала XVIII в. Монтукла в своей истории точных наук называет Вителло толкователем, а не автором оригинального труда; Пристли, автор учебника по истории оптики, считает, что Вителло хотя и черпает из Альхазена, но материал представляет более упорядоченным и ясным способом [296]. Суждения этих авторов более чем через десять лет повторит в своей истории физики Вильде, добавляя, что произведение Вителло относится к наиважнейшим работам по оптике, изданным в прошлом [373]. Из всей огромной «Перспективы» названные авторы упоминают только о преломлении света и объяснении радуги, т. е. о проблемах, которые и сегодня считаются рассмотренными Вителло наиболее оригинальным способом.

Стремительное развитие физических наук и увлеченность новыми достижениями привели к тому, что с середины XVIII в. «Перспектива», написанная за 500 лет до этого времени, все больше стала рассматриваться в историческом аспекте. Она перестала быть источником знаний, а лишь упоминалась историками точных наук. Произошел определенный возврат к упомянутому выше негативному отношению. Многие ученые и сегодня утверждают, что Вителло приводит не более того, что можно найти у Альхазена. Другие же видят его определенную роль в развитии оптики.

Со второй половины XIX в. снова начала проявляться заинтересованность «Перспективой» Вителло. Авторы учебников по истории физики, оптики и математики ограничивались представлением коротких биографических упоминаний и высказыванием позитивных или негативных оценок, часто неточных. Временами упоминались некоторые проблемы, затронутые в «Перспективе», указывалось на решающее влияние Альхазена.

В некоторых работах имя Вителло полностью обходили или его обвиняли в плагиате. В то же время существует мнение, что Вителло был первым европейским ученым Средневековья, сыгравшим роль в оптике [220]: «Его книга в десяти частях является действительно широчайшим оптическим трудом, написанным когда-либо».

Рассуждения Вителло на тему теории радуги и объяснение фокусирования солнечных лучей параболическим зеркалом, несомненно, представляют собой важное достижение.

С другой стороны, некоторые историки науки, анализируя, например, влияние таблиц углов преломления, представленных в десятой книге «Перспективы», утверждают, что они привели к задержке открытия закона преломления [147], [262].

Отдельно следует отметить обсуждение роли Вителло в исследованиях по истории медицины. Указывается, что хотя он и не был врачом, но все-таки превосходно описал анатомию человеческого глаза. Историки офтальмологической науки постоянно приводят описание глаза из Вителло, а также

механизм возникновения образа в глазу. Часто используется рисунок глаза, взятый из издания Танстеттера — Апиана, а ведь это первая репродукция изображения глаза из трактата Вителло. Польские окулисты единодушно причисляют Вителло к тем немногим, кто во времена Средневековья был способен воспринять информацию о строении глаза, изложенную Галеном и Альхазеном [376].

В совершенно новый этап входит изучение «Перспективы» в 1970-е гг., когда Дэвид Линдберг, издавая репринт опубликованных Риснером в Базеле трактатов Альхазена и Вителло, инициировал начало систематических исследований этого великого труда в разных странах. В репринте вместе с редакцией Риснера оказалось также интересное, уже упоминавшееся вступление, где автор рассмотрел биографии обоих ученых, но кроме того — и это важно — представил восприятие их трактатов в следующие века. Линдберг подробно обсудил отношение «Перспективы» Вителло к труду Альхазена и дал сводку рукописей обоих трудов. Интерес к Вителло укладывался в рамки исследований, проводимых по части теорий зрения. Их результаты были опубликованы в обширной монографии [252]. В этой работе, как и в предшествующих ей статьях, Линдберг много места посвятил труду польского схоласта. Под его руководством были подготовлены две докторские диссертации, авторы которых исследовали две книги «Перспективы» Вителло.

Сабетай Унгуру подготовил критическое издание латинского текста первой, математической, книги, объяснения и комментарии к ней, а также вступление и английский перевод [377].

Марк Смит сделал нечто подобное в отношении пятой книги [379].

Эти публикации, изданные в серии «*Studia Copernicana*», представляют собой важный этап исследований наследия Вителло. Историки науки впервые получили на руки оригинальный текст, и с этого времени издание Риснера, по крайней мере в отношении книг I–III, а также V, больше не являлось единственным источником для познания «Перспективы» Вителло. Унгуру и Смит провели сравнительные исследования многих разделов и часто приходили к выводу, что Вителло отклоняется от Альхазена и оригинален в своих научных утверждениях. Например, текстологическим анализом доказано, что четвертая теорема первой книги Вителло, которую Риснер снабдил ссылкой на «Элементы» Евклида, на самом деле оригинальна. Было показано [381], что утверждение Вителло не следует из Евклида, а ссылка на греческого геометра в доказательстве автора «Перспективы» свидетельствует лишь о том, что Вителло хорошо знал «Элементы». Из представленного примера следует, что научную ценность и оригинальность выводов Вителло можно оценить только после подробного, глубокого анализа всех разделов. Основанием для высказывания суждений может быть только результат исследований всего текста, а не беглое чтение избранных разделов.

На основании исследований первой книги «Перспективы» были сделаны следующие выводы [381]:

- оценка первой книги исключительно на основании приписок Риснера неправомерна;
- Вителло не был обыкновенным компилятором, и первая книга содержит много оригинальных теорем, которые не представляли собой какого-то

фундаментального вклада в элементарную математику, но могли способствовать ее развитию;

- Вителло превосходно ориентировался в современной ему математике, доказательства производил безукоризненно и с исключительной ясностью.

Самым выдающимся оптическим произведением после революционных трудов Альхазена была «Общая Перспектива» Роджера Бэкона, написанная около 1263 г. Однако по теологическим причинам основным учебником для факультетов искусств европейских университетов стал гораздо более скромный и по объему, и по глубине изложения трактат архиепископа Иоанна Пеккама. Если бы Вителло не создал свой труд, то эпоха Ренессанса вплоть до XVII в. осталась бы в смысле оптики на более низком уровне «Перспективы» Пеккама.

Вителло закончил работать над своим трудом в 1270–1273 гг., практически одновременно с Пеккамом. Но его подход кардинально отличен от методологии архиепископа. Если Пеккам, познакомившись с трактатами Бэкона, не интересовался его нехристианскими источниками и урезал Бэкона-математика, дополнив Бэкона-метафизика, то Вителло, безусловно знакомый со всеми работами, присланными Бэконом в адрес папского двора, действовал в противоположном направлении. Он проштудировал все, что было написано Альхазеном, и отыскал посвященные оптике переводы Евклида, Архимеда, Птолемея и Герона. Десять книг его «Перспективы» стали энциклопедическим собранием оптического знания со всеми актуальными (а иногда и избыточными) для Европы XIII в. математическими доказательствами и геометрическими построениями.

Автор во многом следует греческим и исламским образцам, причем иногда в своем желании собрать воедино все эти разнородные источники Вителло противоречит сам себе. В некоторых важных доказательных позициях он уступает своим именитым предшественникам, считая их выводы либо неактуальными по сути, либо излишне сложными по математическому оформлению. Можно согласиться и с тем, что добавления к Альхазену или Птолемею, имеющиеся в «Перспективе», часто грешат неточностями, а порой и прямыми искажениями действительности. Все это так. Но труд Вителло стал **единственным** примером действительной интеграции античного, мусульманского и латинского опыта изучения зрительных и световых явлений. Его трактат — итог глубокого погружения автора в содержание всех основных оптических трактатов, написанных за предшествующее тысячелетие. Очевидные погрешности изложения в некотором смысле являются продолжениями достоинств Вителловой «Перспективы» как истинно доксографического компендиума знаний. Таким образом, считать ее шагом назад никак нельзя.

Трактат Вителло необходимо оценивать с точки зрения его положительного влияния на потребности университетской Европы в оптическом знании. И даже если в XIV в., непосредственно после написания, «Перспективу» могли по достоинству оценить лишь немногие, то начиная с XV в. и тем более после двойного печатного издания в XVII в. ни один ученый-оптик не мог обойти вниманием трактат Вителло. Даже яростная критика его по прошествии 300 лет со времени написания свидетельствует о значимости великой работы Вителло — первого славянского ученого-натурфилософа.

ЧАСТЬ 6

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

Знание — столь драгоценная вещь,
что его не зазорно добывать
из любого источника.

Св. Фома Аквинский



Рыцарский шлем с очками короля Генриха VIII.
Из собрания музея Тауэра, Лондон
(фото авторов)

ВВЕДЕНИЕ

Развитие прикладной оптики в эпоху Средневековья стало в последние десятилетия предметом оживленных дискуссий. В прошлом веке на этот период в основном смотрели как на практически бесплодный в техническом отношении и не идущий ни в какое сравнение с Античностью и Возрождением. Позднее, во многом благодаря работам видных историков науки Линна Уайта, Дэвида Линдберга и Марка Смита, эта точка зрения изменилась [256], [369]–[371], [337], [339]. В наше время многие исследователи признают, что в Средневековье были фактически заложены основы технического переворота, произошедшего в Европе в XVI–XVIII вв. [370]. Бесспорно, что развитие прикладной оптики в этот период шло «на ощупь» — эмпирическим путем без должной теоретической базы. Говорить о развитии теоретической оптики в Средневековье в целом не приходится, за двумя существенными исключениями [28].

Во-первых, в Византии, где основы цивилизации и образованности не были столь серьезно разрушены, как на латинском Западе, и где не существовало языковых барьеров, отделявших византийских римлян от античного культурного наследия, греческие научные и научно-технические тексты продолжали храниться и переписываться из века в век. Хотя византийцы и не внесли практически ничего нового в сохраняемую ими традицию, сама доступность текстов по оптике и катоптрике Архимеда, Герона, Птолемея и других авторов сыграла огромную роль в последующих судьбах науки и техники.

Во-вторых, на средневековом мусульманском Востоке научно-технические знания греков были не только сохранены неизмеримо полнее, чем в Западной Европе или даже в Византии, но в некоторых аспектах преумножены [217]. Геометрические построения Альхазена стали вершиной развития теоретической оптики Средневековья. В период VIII–XII вв. общий уровень науки и техники мусульманского Востока намного превосходил Западную Европу. Многие видные арабские ученые занимались техническими исследованиями, как в теории, так и на практике. Отметим трактаты по астрономии,

математике и инженерной механике братьев Бану Муса, труды по изготовлению научных инструментов (астролябий, часов, весов и др.) Бируни и аль-Хазани, а также сочинение аль-Джазари «Книга знаний об остроумных механических устройствах» (1206).

Технический прогресс Средневековья объяснялся не столько экономическими, географическими или политическими факторами, сколько изменением духовной атмосферы и ценностных ориентаций в обществе. Возник иной тип религиозного мышления с иным пониманием связи теоретического знания и продуктивной деятельности и радикальным изменением важнейших технологий. Физический труд перестал быть чем-то низким и постыдным, а природа из места обитания сверхъестественных сил стала объектом хозяйствования, предметом собственности человека, областью активного приложения его энергии и сил. Вопреки обычным представлениям, даже в эпоху «темных веков» техника не только не потеряла ничего существенного из достижений Античности, но и получила новые стимулы к развитию. При этом следует признать, что большинство изобретений и новшеств этого времени возникло не в Западной, а в Восточной Европе и Азии [371].

С XI в. развитие техники Средневековья получило мощный импульс благодаря смещению цивилизации на северо-запад от Средиземноморья, бывшего средоточием цивилизации античной. В Западной Европе были огромные запасы леса, железной руды и каменного угля, полноводные реки, служившие средством коммуникации и позволявшие эффективно использовать энергию водяных мельниц. Иная географическая среда по-новому стимулировала техническое развитие средневекового общества. Контакты с византийцами и арабами, а через их посредничество — с индийцами и китайцами дали европейцам бумагу, компас, шелк, стремяна и стрельчатую арку. К числу важнейших изобретений этого периода относятся колесная тачка, карета, прядильное колесо, ветряная мельница. Это время далеко опередило Античность в применении машин. В одной лишь Англии в конце XI в. насчитывалось около шести тысяч водяных мельниц, использовавшихся не только для помола муки, но и для выполнения других операций. Более далекие последствия имело появление в XIV в. огнестрельного оружия, изменившего весь характер военного дела в Европе. К знаменательным средневековым техническим достижениям относятся очки и механические часы, быстро распространившиеся в городской среде.

Отдельно следует сказать о выдающемся средневековом усовершенствовании всем известного предмета, которым мы пользуемся и поныне. Речь идет о свече. Хотя примитивные свечи были еще у древних египтян, решающий вклад в их производство внесли римляне: они изобрели свечу с фитилем. В качестве основного компонента использовался жир скота, а фитилем служил скрученный папирус. Такие свечи при горении коптели и выделяли резкий запах. Китайцы в качестве фитиля использовали скатанную рисовую бумагу, а горючий материал получали из смеси местных насекомых с зерновыми культурами. В Японии свечи делали из воска, полученного из ореховых деревьев, а в Индии варили плоды коричневого дерева. И только в Средние века люди открыли для себя пчелиный воск. В отличие от жировых, восковые свечки горели чисто и без запаха. Однако стоили они очень дорого,

и поэтому только зажиточные люди могли себе их позволить. Тем не менее к XIII в. в Европе, в частности в Англии и Франции, появились целые гильдии свечных мастеров. Свечи широко использовались при религиозных обрядах и изготавливались в основном при церквях, а продавались в небольших свечных магазинчиках во всех городах и деревнях.

В течение первых пяти веков Средневековья на латинском Западе практически не появлялось серьезных научных трудов в области техники. Грамотность и письменная традиция, сохранявшиеся преимущественно в церковных и монашеских кругах, нашли отражение в сочинении немецкого монаха Теофила Пресвитера «Записки о разных искусствах» (ок. 1120 г.). Оно посвящено ремеслам, необходимым для украшения церквей, изготовления церковной утвари и посуды, иллюстрирования книг и т. п. Труд содержит разделы по изготовлению стекла и колоколов, выплавке металла, по-видимому, взятые из алхимических трактатов.

Ученые философы и теологи XIII в., такие как Роджер Бэкон, Иордан Неморарий или Пьер де Марикур, проявили значительно больший интерес к технике, чем их предшественники. Хотя самодвижущиеся машины, описанные Бэконом, были плодом его воображения, а не технической деятельности, а многие положения книги Неморария о весах и грузах неверны, именно в это время намечаются первые шаги по сближению научного и технического знания. Так, сочинение французского инженера и архитектора Виллара де Оннекура составлено из записных книжек с набросками различных машин и сооружений и идеями по их усовершенствованию. Военно-инженерная традиция была отражена в более поздних сочинениях Гвидо де Виджевано, Уолтера де Милимета и Конрада Кайзера [28].

Достижения Средневековья в области науки и техники необходимо рассматривать в связи с появлением и формированием новой экономической формации — ремесленных цехов. Ремесленные цехи в Западной Европе появились почти одновременно с самими городами: в Италии уже в X в., во Франции, Англии и Германии в XI — начале XII в., хотя окончательное оформление цехового строя с помощью хартий и уставов происходило, как правило, позднее. Появление цехов было обусловлено достигнутым в то время уровнем производительных сил и всей феодально-сословной структурой общества. Было несколько причин для их образования. Городские ремесленники как самостоятельные, раздробленные и мелкие товаропроизводители нуждались в объединении для защиты своего производства и доходов от феодалов, от конкуренции «чужаков» — неорганизованных ремесленников или постоянно прибывавших в города выходцев из деревни, от ремесленников других городов, да и от соседей-мастеров. Вся жизнь средневекового цехового ремесленника — социальная, экономическая, производственная, религиозная, бытовая, праздничная — проходила в рамках цехового братства. Цехи делились по профессиям, причем разделительные признаки основывались не на характере труда, а на выпускаемой продукции. Члены цеха были заинтересованы, чтобы их изделия получали беспрепятственный сбыт. Поэтому цех через избранных должностных лиц строго регламентировал производство. Регламентация цеховой жизни нужна была и для того, чтобы члены цеха поддерживали его высокую репутацию не только качеством производимых

изделий, но и благонравным поведением. Бродячий ремесленник — исключение и его социальный статус — следующий за нищим.

Усиление влияния цеховой структуры непосредственно коснулось развития прикладной оптики и оптических технологий. О становлении цеховых гильдий по изготовлению первых оптических элементов в Европе сохранилось много свидетельств. Так, в Венеции 15 июня 1301 г. ознаменовалось тем, что любому члену гильдии по обработке кристаллов было позволено производить увеличительные стекла или очковые линзы из стекла. В марте 1317 г. некий Франческо, сын хирурга Николо, получил разрешение на изготовление очковых линз из стекла и продажу их в Венеции, хотя и не принадлежал к членам гильдии. Это означает, что в начале XIV в. производство очков было уже достаточно развито и не составляло секрета [264]. Потребность в очках способствовала появлению и развитию оптических мастерских, опережавших развитие оптической науки.

Содержанием шестой, заключительной части является последовательное изложение достижений в области оптических материалов, элементов и технологий, а также в развитии оптических устройств и инструментов. Раздел завершается рассмотрением оптических загадок Средневековья.

Глава 24

СТЕКЛО

Пою перед тобой в восторге похвалу
Ни камням дорогим, ни злату, но Стеклу!

М. В. Ломоносов

На пороге новой эры летосчисления произошли два знаменательных в истории стеклodelия события: люди научились варить прозрачное, бесцветное, как горный хрусталь, стекло и вырабатывать из него выдуванием большие, красивые сосуды. Мозаичные чаши и полые блюда получили широкое распространение в Средиземноморье (рис. 24.1, 24.2).

Другим достойным упоминания достижением явилось то, что с I в. н. э. окна римских домов стали закрывать стеклом (см. цв. вкл., ил. 29).



Рис. 24.1
Из рукописи
Рабана Мавра.
Аббатство
Монте-Кассини, 1023 г.



Рис. 24.2
Мастер, заливающий стеклянную массу в форму.
Рисунок из французской энциклопедии

Изготовленные преимущественно в технике отливки и установленные на деревянные или металлические рамы стекла появились в государственных зданиях в Риме, в частных домах в Помпеях и Геркулануме, а также в термах, где служили как для удержания тепла, так и для освещения помещений [76].

С V в. до н. э. на протяжении почти четырех столетий центрами производства стекла были финикийские города Тир и Сидон. Финикийские ремесленники ввели фабричное клеймо, донесшее до нас имена Аристана, Артаса, Ясона и Энниона из Сидона. Сделанные ими сосуды приобрели известность на всей территории римского мира. Один из этих мастеров, по преданию, поселился в Италии и, возможно, положил начало итальянской школе стеклоделия. Основными центрами античного стеклоделия стали эллинистическая Александрия, область Кампанья на Апеннинском полуострове и ближневосточные римские провинции.

24.1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СТЕКЛОДЕЛИЯ

Истина одна, но мудрецы называют ее различными именами.

Ригведа

Эллинская эпоха ознаменовалась освоением высокотемпературной варки с получением расплава, свободного от пузырей и свилей, и открытием метода выдувания полых стеклянных изделий (впоследствии утраченного).

Уже в этот период в большинстве случаев стекло прозрачно, бесцветно или окрашено в разнообразные красивые тона, лишено дефектов — пузырей и свилей, видимых невооруженным глазом. Устранение пузырьков в процессе плавления стекла осуществлялось перемешиванием стеклянной массы стержнем с влажной поверхностью. Были усовершенствованы стекловаренные печи, что позволило выплавлять за один прием значительное количество стекла и вырабатывать изделия больших размеров [192].

Варку вели в два приема. Печи имели два отделения: для варки стекла и для отжига изделий. Варка производилась при температуре 1400–1500°C. Для работы со стекломассой ее охлаждали примерно до 1100°C. Что касается составов стекол, то мастера все еще не придавали значения количественному соотношению компонентов, подбирая их на ощупь. Например, кремния использовалось от 59 до 75%. Характерный химический состав стекол того времени приведен в таблице 3.

В Средние века для облегчения плавления кремния применялись известь, сода и поташ. Чаще всего в качестве оснований стеклодувы использовали соду и поташ: стекло, производимое в средиземноморских районах, имело

Таблица 3

Натриево-кальциевое стекло	12,9% NaO ₂ : 11,6% CaO : 75,5% SiO ₂
Калиево-кальциевое стекло	18,3% K ₂ O : 10,9% CaO : 70,8% SiO ₂
Свинцовое стекло	13,8% K ₂ O : 32,8% PbO : 53,4% SiO ₂

натриевые основания, а изготавливаемое на отдаленных от береговой линии территориях — калиевые. В обоих случаях их получали путем сжигания растений. На закате Римской империи и при династии Меровингов натриевые основания доминировали. В принципе составы стекол не претерпели существенных изменений до нашего времени [70].

История стеклоделия периода Средневековья была неразрывно связана с алхимией, что способствовало разработке новых экспериментальных методов, накоплению богатого эмпирического материала и созданию химического оборудования.

Для осуществления высокотемпературного способа варки в эллинические времена использовалось дутье, хорошо известное из металлургии. В простейшем случае оно осуществлялось ртом человека с использованием тростниковой трубки. Чтобы воткнутый в очаг конец трубки не горел, его обмазывали глиной. Такая трубка была прообразом знаменитого впоследствии инструмента стеклодува. Оставалось только дожидаться того случая, при котором стекловар нечаянно погрузил трубку в стекло на несколько сантиметров, чтобы на конце трубки образовался стеклянный пузырь.

Впоследствии тростниковая трубка была заменена на железную длиной немногим более метра. Этот метод преобразовал труд скромного ремесленника в труд творца, открыл простым людям доступ к высокохудожественным изделиям. По мере того как новый метод выдувания входил в употребление и мастера Египта, Сирии, Финикии, а затем и Рима овладевали его разнообразными приемами, стекольное производство начало вступать в новую фазу своего развития. С одной стороны, появилась возможность изготавливать небывалые по сложности и красоте вещи, подлинные произведения искусства (см. цв. вкл., ил. 31), а с другой — для массового потребителя появились изделия бытового назначения, доступные по цене. Ни до, ни после этого времени, ознаменованного появлением трубки стеклодува, не было такой динамики в производстве стеклянной посуды: флакончиков для косметических жидкостей, рюмок, стаканов и бокалов, кувшинов, графинов и крупных сосудов для хранения продуктов.

Для придания формы изделиям из стекла применялись три способа: прессование (литье в форму), формирование раздувом и литье. Литье в форму и формирование раздувом являются очень древними способами. Использование форм при литье, очевидно, предшествовало формированию раздувом, появившемуся в I в. до н. э. Формы для отливки состояли из одной или двух частей. При использовании двух частей пресс-формы оставался видимым соединительный шов. В античный период применялся метод свободного литья, который затем был забыт, и лишь в XVII в. заново изобретен мастером-стеклодувом Бернаром Перро [54].



При формировании раздувом через отверстие в тигле на конец трубки набирается шар расплавленной стекломассы. При этом трубку постоянно вращают, переносят шар на мраморную площадку и дуют в трубку: получается чаша грушевидной формы — наборка стекломассы. Затем производят вторую наборку поверх первой и продолжают вращать массу, чтобы компенсировать действие силы тяжести. Стеклодув садится на рабочую скамейку и левой рукой заставляя трубку вращаться, опираясь на рычаг скамейки, в то время как правой рукой

с помощью деревянного молота он придает округлую или овальную форму стеклянному шару. Желаемая форма намечается при выполнении вращательных и балансирующих движений с использованием деревянных или железных приспособлений: ножниц, зажимов, щипцов, деревянных дощечек для придания плоской формы, различных утюгов. Для отделения изделия от трубки резким движением стеклодув использует понтию (железный прут) и влажные щипцы, подготавливая при помощи ножниц горлышко в месте удаления.

При формировании изделия стекло все время должно находиться в нагретом состоянии, чтобы стекломасса оставалась гибкой и податливой. Отделившись от трубки стеклодува, часть будущего изделия падает в шаблонную форму и помещается в печь для медленного охлаждения, чтобы контролировать протекание этого постепенного процесса, снимающего внутренние напряжения. Несколько частей одного и того же изделия могут формироваться раздувом отдельно друг от друга, а затем спаиваться вместе при нагревании [239].

Развитие стеклоделия было тесно связано с выделкой глазури в керамическом производстве, а также с изготовлением первых оконных стекол. Выдуваемый шар научились превращать в подобие плоского диска, в котором можно было вырезать небольшие квадратики. Их оправляли в свинцовые рамки, служившие для остекления окон. В Средние века существовал и другой способ получения материала для остекления окон: для него использовались доньшки стеклянных пузырей, спаиваемые в полупрозрачный блок. Такой блок не позволял наблюдать за тем, что происходило за окном, но хорошо пропускал свет (см. цв. вкл., ил. 30). Многие живописцы Средневековья донесли до нас изображения таких окон.

С началом I в. стеклоделие, получившее широкое развитие в Италии и на Востоке, стало быстро распространяться в странах Западной Европы, завоеванных Римом. На первом месте оказалась Галлия. Уже во II в. в Нормандии, Пикардии, Бретани, Руане, Лионе, Марселе образовались крупные центры стеклоделия, вывозившие свою продукцию за границу, конкурируя с Римом, Александрией и переднеазиатскими странами.

В первые века новой эры стеклоделие находилось на небывалой высоте развития, и, казалось, ничто не омрачало перспективы его дальнейшего подъема. Но с ослаблением Римского государства и падением Римской империи на западе искусство мастеров стекольного дела стало угасать. Центр стеклоделия был перенесен на восток империи по причине перемещения императорского двора из Рима в Константинополь. Единство римского производства стекла было нарушено к середине IV в. Это вызвало появление региональных стилей, узнаваемых по форме и украшениям.

Центром стеклоделия оставался лишь Константинополь. Римско-католическая церковь, под эгидой которой развивались средневековые искусства и художественные ремесла на Западе, считала хрупкие изделия из художественного стекла символом греха. Несмотря на это, в Италии, Галлии, Рейнской области, Бельгии создавалась база будущих производств. Постепенно в Европе сформировались две стекольные традиции: на севере стекольные мастерские располагались и работали в лесах Германии, Богемии, Бельгии, Франции и Британии, в то время как на юге, и прежде всего в Италии, они концентрировались в городах. Включавший Германию, Бель-



Рис. 24.3
Техника обработки стеклянных цилиндров
для изготовления плоских пластин,
1751–1752 гг. [122]

гию и Францию регион под властью франков развил новый стекольный стиль, известный как франкский, меровингский или тевтонский. Типичными изделиями были стаканы в форме конуса или рога. Другие интересные франкские изделия — так называемые бокалы «с хоботком». Каролингский период только краем коснулся стекольных предприятий. В 803 г. христианская церковь безуспешно попыталась запретить использование стеклянных кубков в ритуальных целях и, напротив, поощряла использование стекла как материала для окон (рис. 24.3). Этим были заложены основы техники изготовления цветного стекла, которая достигла апогея в более позднюю эпоху, о чем свидетельствуют роскошные витражи многих соборов Северной Европы. Кроме того, ширилась торговля, и стеклянные предметы восточного производства стали достигать Испании, Скандинавии и Англии.

На Востоке традиции стеклоделия оставались живы еще сотни лет. Крестоносцы по возвращении из походов принесли с собой сведения о производстве стекла и в XI–XII вв. возродили это ремесло в Западной Европе. Стекольные мастерские были заняты изготовлением мозаичных смальт и цветного листового стекла для витражей. Большую трудность представляло изготовление плоского стекла правильной формы, которое могло бы служить для остекления окон и создания витрин.

Уже в XIII в. более передовые европейские технологии варки стекла в свою очередь были позаимствованы арабами. На рисунке 24.4 показана круглая печь для



Рис. 24.4
Печь для варки стекла.
Из собрания Музея стекла
в Мурано
(фото авторов)

варки стекла, использовавшаяся мусульманами в то время, полный технологический цикл получения сырья и варки стекла показан на иллюстрации 32 (см. цв. вкл.) [239].

В заключение скажем несколько слов о развитии стеклоделия в Древнерусском государстве.

На Руси с большим основанием можно предполагать существование особого ремесленного сословия стеклянников уже с XI в. Славяне домонгольского периода располагали собственным стекольным производством, размещавшимся преимущественно в крупных городах и поставлявшим населению разнообразную продукцию в большом количестве. Мастерская по производству стекла существовала в Киеве. Привоз стеклянной посуды из далеких мест был делом нелегким, а то, что русские хорошо знали применение стекла, видно из употребления этого слова в наших литературных памятниках.

Особенно прославились русичи ювелирным искусством, достигшим высокого технического и художественного уровня в эпоху Киевской Руси. Ювелирные изделия украшались разноцветными эмалями, являющимися по сути заглушенными цветными стеклами. Во всеобщем употреблении на Руси были стеклянные браслеты местного происхождения, от примитивных до изысканных экземпляров. Исходным материалом для их изготовления служила стеклянная палочка. Изготавливались также бусы из стекла, содержавшего 25% окиси свинца, 15% окислов щелочных металлов и небольшое количество окислов кальция и магния.

Наиболее крупным по объему и сложным по технике было производство мозаичных смальт, главной составной частью которых были окись свинца в количестве около 70% и кремнезем — около 20%, менее 10% составляли глушители и красители, а окиси кальция, натрия, калия, глинозем и окись железа в сумме не превышали 1%. Восхищение иностранцев вызывали храмы, отделанные мозаикой и фресками, полы, набранные из разноцветных смальт и представляющие собой великолепные сказочные ковры. Особое место в декоративной отделке соборов занимала мозаичная живопись.

В течение долгого времени бытовало мнение, что все смальты, из которых набирались мозаики древнерусских храмов, завозились из Византии. Однако при археологических раскопках, проведенных в начале прошлого столетия в Киеве, были найдены остатки стекольной мастерской XI–XII вв. Были обнаружены развалины печей особого устройства, большое количество целых и сломанных стеклянных браслетов и перстней, а также тонкостенные сосуды, куски эмали и многоцветной смальты. Цвета многих смальт соответствуют расцветкам, примененным на мозаичных картинах Софийского собора в Киеве, и совпадают с ними по составу.

Неожиданной находкой того времени явились обломки дисков из хорошо проваренного бесцветного стекла, диаметром около 200–250 мм, с аккуратно завернутой кромкой. Такие диски использовались, по-видимому, как оконные стекла, что было тогда большой редкостью, ведь массовое производство листового стекла даже в Западной Европе стало налаживаться только с XVI в. Высокая культура Древней Руси была сметена монголо-татарским нашествием, и развитие цивилизации восточнославянских народов приостановилось почти на три столетия.

24.2. ВЕНЕЦИАНСКОЕ СТЕКЛО. СЕКРЕТЫ ОСТРОВА МУРАНО

Человек должен трудиться, а праздность есть потворство греху.

Гуго Сен-Викторский

Выдающуюся роль в развитии стеклоделия в Европе сыграла Венеция. Историю стеклоделия в Венеции можно разделить на четыре периода [83]. Первый, охватывающий X–XII вв., соответствует начальной стадии производства: выпускались простейшие вещи домашнего обихода. Второй период — с XII по XIV в. — является порой интенсивного развития стеклоделия, в результате которого оно заняло одно из ведущих мест в экономике государства. Третий период — XV–XVII вв. — стадия невиданного пышного расцвета искусства стеклоделов, принесшего Венеции мировую известность, и, наконец, четвертый — XVIII в. — период упадка. В этой главе мы, естественно, уделим внимание в основном двум первым периодам.

Стеклодувное производство, благодаря которому небольшой соседний с Венецией остров Мурано (рис. 24.5) стал знаменитым на весь мир, берет свое начало с 1292 г., когда из-за угрозы пожаров туда были переведены все стекольные заводы Венеции. Более весомой причиной их перевода на остров явилось стремление сохранить от конкурентов секрет изготовления стеклянных зеркал, отличающихся высокой прозрачностью. За разглашение тайны очищающего реактива, обеспечивающего высокую прозрачность стекла, полагалась смертная казнь. Известны реальные случаи, когда секретные венецианские службы подсылали наемных убийц к стеклодувам, покинувшим остров и переселившимся на континент.

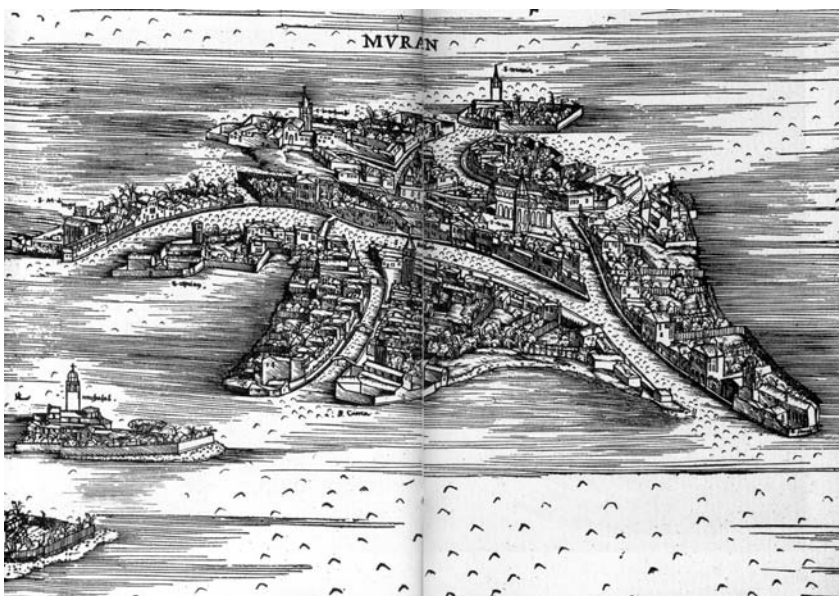


Рис. 24.5
Средневековый план острова Мурано [359]



Техника выдувания стекла, веками остававшаяся непревзойденной, используется в Мурано до сих пор. Главные центры производства распространились на восток и запад Средиземноморья благодаря эмиграции ремесленников, которые несли свое искусство всюду, где оно было востребовано и где было возможно запастись топливом и сырьем. Заметим, что еще в конце I в. н. э. римский поэт Марциал говорил о *резных стеклах*. Упомянем свидетельство III в. о споре в городе Аквилее между производителями и резчиками стекла. Уже тогда существовало глубокое различие между этими двумя категориями. Тот факт, что в Аквилее, крупном центре Северной Италии, производилось и обрабатывалось стекло, будет иметь основополагающее значение для стекольного будущего Венеции.

Производство стекла в Венецианской лагуне явилось особой страницей развития стеклоделия. На острове Торчелло, расположенном в северной области лагуны, в 1961 г. был обнаружен фундамент стекольной мастерской, существовавшей между VII и VIII вв. Были найдены остатки трех печей, имевших устье для повторного обжига сбоку, а не сверху, как это было в печах римской эпохи. Они стали первыми свидетельствами стекольной деятельности в Венеции. В римскую эпоху современная территория лагуны полностью выступала над поверхностью воды. Торчелло был густонаселенным местом уже в V–VI вв., а в конфедерации островных поселений в Северной области являлся самым крупным центром, заслужившим по свидетельству хроник X в. название «большой ярмарки». Его господство было постепенно вытеснено ростом Венеции, сформировавшейся из центров Оливоло и Ривоальто, куда в 810 г. было перемещено правительство города. В 982 г. на острове Сан-Джорджо-Маджоре в бассейне Сан-Марко был основан бенедиктинский монастырь. С этой датой совпадает самое раннее упоминание о стекольной деятельности в Венеции. Хранящийся в монастыре акт дожа Трибуно Менио от 20 декабря 982 г. содержит в числе других имя некоего фиоларо Доменико (*фиоларо* — стеклодел, от слова *fiola* — сосуд для жидкостей с узким горлом). Из этого следует, что стеклодувное искусство практиковалось в Венеции еще в X в. В архиве того же монастыря сохранились два документа XI в.: один от марта 1083 г., в котором отмечен свидетелем фиоларо Пьетро, а другой — от июля 1090 г., подписанный фиоларо Пьетро Флабьянико, который мог быть тем же лицом. XII в. также беден на упоминания. Одно из них, за 1120 г., касается обещания, данного настоятелем аббатства Сан-Чиприано города Мурано, передать приходскому священнику главной церкви острова — великолепной базилики Святых Марии и Донато — «две ангастары, полные вина». (Термин *ангастара* в последующие века будет использоваться жителями Мурано для обозначения пузатого стеклянного графина с узким горлом.) В акте, оформленном в Венеции в 1158 г., упоминается свидетель фиоларо Джованни. Только в XIII в. упоминания становятся более содержательными [171].

Как уже говорилось, вся средневековая европейская культура была тесно связана с культурами Востока. Венецианцы поставляли крестоносцам суда и продовольствие, за что им были даны особые привилегии и участки земли на восточном побережье Средиземного моря. К 1124 г. венецианцы уже прочно закрепились в Иерусалиме, Акре, Сидоне и Тире. В Венецию стали выво-

зять мастеров по производству стекла и необходимое сырье. Расцвет стекольного производства в Венецианской республике в XIII в. начался после поступления из Константинополя огромной коллекции образцов византийского художественного стекла, а также переселения в Венецию многих греческих мастеров-стекольщиков. Не позднее 1224 г. там был основан первый стеклодувный цех. Немалую роль сыграла одаренность и склонность венецианцев ко всякого рода изобразительному искусству и хорошо продуманная и четкая организация производства. Развивая технику мозаичного стекла, названную *миллефиори* (тысяча цветов), они изобрели знаменитое венецианское филигранное *кружевное* стекло, завоевав славу лучших стеклоделов Европы и открыв историю стекольного производства Нового времени.

Итак, стеклоделы объединились в цех — характерное сообщество венецианского ремесла, которое охватывало работников одной отрасли экономики и являлось школой, т. е. свободной ассоциацией религиозного образования и благотворительной природы. Цехи управлялись и контролировались государством, которое в 1173 г. доверило надзор над ними управлению юстиции, новой магистратуре, состоящей из пяти членов, называемых юстициариями. О существовании Стекольного цеха свидетельствует документ за май 1224 г. о наказании 29 человек, нарушивших нормы, установленные юстициариями для Стекольного цеха. Неизвестно, что точно являло собой производство этих стеклоделов, но можно сказать, что техника составления стеклянной массы достигла довольно высокого уровня, если в марте 1233 г. юстициариям пришлось запретить венецианским ювелирам вставлять в золотые оправы искусственные драгоценные камни, сделанные из цветного или бесцветного стекла. Этот запрет содержит, возможно, самое раннее упоминание о венецианском производстве фальшивых драгоценностей.

В 1225 г. уже были известны семь венецианских стекольных дел мастеров, впоследствии ставших знаменитыми: Беровьери, Бриати, Бертолини, Мотта, дель Галло. Власти Венеции рассматривали их скорее как художников, а не как ремесленников. Им предоставлялись существенные привилегии, например брать в жены дочерей дворян.

Постепенно стеклоделы улучшали выплавку своих изделий, используя битое стекло, поступающее с Востока, что следует из Морских уставов Раниери Дзено 1255 г., где написано, что в числе товаров, перевозимых в качестве балласта на возвращающихся с Востока венецианских кораблях, помимо белых алюминиевых квасцов — поступающего из Александрии Египетской стекольного флюса, присутствовали осколки стекла для переплавки. Поступающий из Александрии флюс был худшего качества по сравнению с сирийским, который назывался «свет Сирии».

Хранящаяся в Риккардианской библиотеке во Флоренции хроника, которую составил на французском языке во второй половине XIII в. Мартино да Канал, описывает праздник, организованный венецианским населением в июле 1268 г. для Лоренцо Тьеполо, избранного дожем Венеции. В его рамках продефилировали представители ремесел, а среди них «мастера-стеклодувы, которые изготавливают изделия из стекла».

К 1271 г. относится работа по реорганизации устава стеклодувов — *Capitularis de Fiolaris*. Он ценен сведениями, касающимися древней организации

цеха, который управлялся гастальдом, ежегодно избираемым из числа владельцев печей, но не содержит технических указаний. Сообщается только, что плавка стекла выполнялась в два этапа, позволяя сделать сколь угодно много стекольной массы, но предписывалось использовать печи с тремя устьями, отличавшиеся от той, которая называлась *калькера* и в которой подготавливалась стеклянная масса. Печи должны были топиться только древесиной ольхи и ивы: ограничение было вызвано необходимостью сохранить для семейного использования скудные возможности растительности островов и берегов лагуны.

Единственными стеклянными товарами, указанными конкретно, являлись графины с голубой каймой по краю горловины, используемые в общественных лавках как утвержденные меры масла и вина.



При изготовлении стекла смешивали в почти равных количествах растительный пепел и кремнеземный песок или измельченные в пыль кварцевые камни, а полученную смесь плавил в печи-калькере, чтобы получить *фритту*. При этом из смеси удалялась влага и сжигались примеси. Эта фритта часто продавалась как сырье, поставляемое небольшим стекольным фабрикам при лесных хозяйствах в страны, в которых имелась нехватка топлива. После смешения с измельченным битым стеклом и небольшим количеством марганца фритта переправлялась в глиняные контейнеры, называемые *паэла* и установленные в плавильной печи из огнеупорного кирпича. Двуокись марганца, с одной стороны, устраняла желтоватые и зеленоватые оттенки стекла, а с другой — придавала стеклу пурпурный, розовый или фиолетовый оттенок.

Основание отверстия плавильных печей располагалось на верхнем уровне тигля: стеклодув мог легко собрать стекловидную массу при помощи трубки для выдувания стекла либо понтии (железного прута). Каждая паэла была расположена рядом с устьем печи, и каждому устью соответствовало рабочее место, называемое *азюо*. Эти термины сохранились в общем употреблении в Мурано до настоящего времени. Согласно уставу от 1271 г. каждая печь должна была работать не более чем с тремя устьями, но распоряжение от 1302 г. позволило увеличить их количество до четырех. Работа велась без перерывов, и в печах день и ночь поддерживали огонь *стиццадоры*. Мастера менялись, работая в сменах по 12 часов каждый, и можно предположить, что находившиеся в печах тигли использовались поочередно, позволяя загруженному материалу дойти до плавления.



Сами тигли изготовлялись вручную или формовкой. Они могли быть круглыми, овальными, прямоугольными и иметь разные размеры. Первые известные нам тигли относятся к поздней Античности. Они представляют собой обработанные горшки, используемые в быту в качестве посуды, приспособленные для плавления стеклянной массы. В Средние века тигли выполняли по спиральной технике с использованием лучших сортов глины, которую иногда привозили из дальних краев. Расплавленное стекло имело свойство немного поглощать стенки тигля, поэтому для изготовления тигля мастера всегда искали глину нейтрального цвета. Производство тиглей было сложным и продолжительным процессом: их выдерживали несколько месяцев при средней температуре, затем обжигали примерно при 1500°C. Поскольку срок их службы составлял всего два-три месяца, мастера должны были практически непрерывно готовить новые партии тиглей.

О конкретных приемах работы с использованием средневековых печей известно мало подробностей. Сказалась закрытость цеховой корпоративной информации. Документы от 1313 г. о денежном кредите для изготовления двух стеклодельных форм упоминают факт использования специальных форм для стекла. Из рассказа мастера-стеклодува 1314 г. становится известно об использовании терминов *ферро* (стеклодувная трубка), *борселла* (щипцы для придания формы горячему стеклу) и *сканьо* (передвижная лавка, на которой сидит во время работы мастер).

Для постоянного поддержания огня на протяжении нескольких месяцев требовалось большое количество топлива. Вплоть до XVII в. им являлась древесина. Деревья хвойных пород легко воспламеняются и использовались для быстрого разжигания огня.

Во время плавления, которое стеклодув мог наблюдать через отверстие, с поверхности стекломассы снимали пену, содержащую примеси, минеральные соли, соли железа и пепел.

В старейшем реестре подесты за 1279 г. указано, что Мурано только в предшествующем году вновь обрел административную независимость от Венеции, которую потерял в 1171 г. (и которую сохранил до 1924 г.). Входящий в реестр акт, касающийся размещения стеклодувной печи, является самым ранним прямым свидетельством стеклодувной деятельности на острове. Дополнение в 1279 г. к «Перечню статей цеха» предписывало, чтобы «каждый, относящийся к данному цеху, не смел и не предполагал работать после того, как прозвонит колокол, отмечающий канун дня Святой Марии Муранской».

В 1280 г. в Мурано работал художник по бокалам Грегорио Науплия. Его присутствие на острове документируется вплоть до 1288 г. и предполагает существование венецианской школы украшения стекла, уже действовавшей при его прибытии или основанной при его участии. К этой школе, упоминавшейся вплоть до 1838 г., помимо Грегорио Науплии относятся мастера Бартоломео и Донино да Зара, Дзаннус Тотулус и некий Петрус. То, что в Венеции также имелись декораторы стекла, подтверждает решение от 5 июня 1281 г. А из списка имущества, описанного в Мурано за долги 6 марта того же года, мы узнаем, что венецианцы называли имитацию драгоценных камней из цветного стекла *верикселли*.



Из свидетельств 1280 г. известно о производстве украшенных бокалов на ножке с небольшими стеклянными выступами, имеющих на внешней поверхности ряды капель стекла, нанесенного в горячем виде. Этот тип изделия, называемый *а корона* (коронованный), изготовлялся в Коринфе еще в XI в., и, возможно, эта техника была принесена в Венецию коринфскими ремесленниками, чтобы затем успешно распространиться во Франции и Англии. Те же свидетельства указывают на названия *ингистере* и *мойоли*, данные венецианцами обычным графинам и бокалам, которые впервые встречаются с таким стеклянным обозначением; кроме того, XII в. датируется отправка венецианских стекол в *Романию*, этим названием в Венеции обозначали Византию.

Как и все товары, вывозимые из Венеции, стекло также облагалось пошлиной. Но имеются документы за 1282 г., которые освобождали от этого налога германцев, «переносящих при себе изделия из стекла» на сумму не



Рис. 24.6
Из собрания
Музея стекла
в Берлине

более 10 лир (рис. 24.6). Заметим, что на эти деньги в те времена можно было купить более 1300 обычных бокалов. Одновременно с этим росло внимание республики в отношении стеклодувного искусства, и в 1285 г. Большой совет запретил вывозить из государства без герцогской лицензии стеклянный лом, алюминиевые квасцы, песок и прочее сырье для стекла. Тот же совет, озабоченный усиливающимся исчезновением растительности, служившей для поставки необходимой в домашних целях древесины, решил ужесточить наложенное на стеклодувов ограничение по выбору древесных пород в качестве топлива для их печей, запретив им пользоваться другой древесиной, кроме ольхи. В 1289 г., когда в других муранских стеклодувных мастерских огни уже были погашены для ежегодных каникул, одной из них, которая готовила фонарь для пристани Анконы, было позволено продолжать работу. В то время ежегодные

каникулы цеха длились пять месяцев и были учреждены в том числе для того, чтобы дать возможность продать продукцию, держа рынок под контролем.

Документы 1290 г. говорят о еще не оплаченных алюминиевых квасцах из Сирии и конфискации марганца, документально подтверждая происхождение растительного пепла и использование обесцвечивающего вещества стеклодувами лагуны.

8 ноября 1291 г. Большой совет издал декрет о разрушении стеклодувных печей, находившихся в городе Ривоальто, позволяя свободно ставить их в любой другой части лагуны. В этом можно было усмотреть меру безопасности, необходимую в городе с быстрым демографическим ростом (в 1353 г. он будет насчитывать 133 тысячи жителей), дома которого были построены преимущественно из дерева.

В августе 1292 г. Большой совет постановил, что в городе могут работать «маленькие печи для верикселли», при условии, что они находятся не менее чем в пяти шагах от жилых домов. В 1295 г. муранские стеклодувы, обратившись к синьории, добились того, чтобы те из них, кто выезжает за границу, не могли, как это случалось раньше, быть снова принятыми после уплаты налога, а были навсегда изгнаны из цеха, и чтобы утечке из Венеции того, что необходимо для приготовления стекла, препятствовали всеми способами.

Еще одним декретом от 25 августа 1308 г. одной из печей Мурано было разрешено вновь зажечь погашенный для ежегодных каникул огонь, чтобы приступить к заказу представителей базилики Сан-Марко. Это отражает обычную для того времени практику обращения к муранским стеклодувным мастерским с целью ускоренной поставки всего стекольного материала, необходимого для престижных мозаичных работ базилики. В записях вместо *фиоларо* употреблено слово *вумпарий* (*vetrario*); именно оно начинает использоваться с начала XIV в.



25 сентября 1317 г. Джованни Деолай, владелец печи в Мурано, попросил у Большого совета республики разрешение оставить зажженными печи для изготовления смальты во время ежегодных каникул. Этот декрет является единственным документом, говорящим о производстве смальты, матовых или прозрачных стекол, предназначенных прежде всего для ювелиров. Тот же Джованни Деолай в 1330 г. попросил разрешения нанять несколько помощников для открывшейся за пять с лишним лет до этого в Венеции стеклодувной мастерской по изготовлению верикселли. Как следует из городских хроник, ему же была дарована исключительная концессия на производство цветных оконных стекол. Большой совет, выслушав положительное мнение старых юстициариев, считавших его лучшим в своем искусстве, разрешил ему взять с собой двух муранских мастеров.

Решением подсты от 4 апреля 1331 г. предоставлялся кредит в пользу некоего стеклодела Альдоврандино с острова Мурано.

В коллекции Британского музея хранится уникальный бокал, имеющий надпись белой эмалью: «Мастер Альдревадин сделал меня» (см. цв. вкл., ил. 33). Бокал является эталонным образцом из так называемой группы Альдревандино, включающей бокалы и чаши. Возможно, что речь идет об одном и том же мастере.

В первой трети XIV в. получила распространение практика введения кремнезема в составы стекла с помощью кварцевых камней вместо песка. Самое раннее упоминание об этом методе относится к 1332 г. Камни измельчались в специальных устройствах, располагавшихся снаружи стеклодувных мастерских, и предварительно нагревались до высоких температур, чтобы облегчить превращение в порошок [359].

Сообщение 1338 г. отмечает изготовленные в Венеции имитации *патерности* из стекла, которые, возможно, являлись одним из первых появлений того, что в будущем будет известно как *бисер*.

Термин «патерности», появившийся около 1319 г., обозначает бусины с отверстием, обычно из янтаря или горного хрусталя, использовавшиеся для ожерелий и четок.



В XIV в. в Венеции одним из основных видов выпускаемых изделий были бусы и стеклярус. Материалом для бус служили все виды стекла: цветное, прозрачное или заглупенное. Для более ценных сортов бус использовали составы стекол, подражавшие природным декоративным материалам, например яшме, малахиту, ляпис-лазури, бирюзе, жемчугу. Величина отдельных бусин колеблется в пределах от размеров небольшого зерна до 12–15 мм в диаметре. Бусины украшали тончайшими цветными нитями, которые располагались на поверхности, образуя сложные узоры. Мастер-стеклодув при производстве бус и стекляруса пользовался палочками и трубочками из стекла, полученными в стекловаренном цехе. Секрет производства бисера в Мурано продержался до XIX в.

Следующим этапом в деле обработки стекла стало изобретение техники обработки стеклянных цилиндров [313]. Это был первый шаг к изготовлению знаменитых венецианских зеркал. О них разговор еще впереди, а сейчас лишь заметим, что только в середине XIV в. стеклодувы острова Мурано добились полной прозрачности и бесцветности стекла и стали использовать его для производства зеркал.



Стеклянные цилиндры делались так: на конце стеклодувной трубки получали нечто вроде рукава правильной формы, оба конца цилиндра обрезали, а сам цилиндр опять нагревали (см. рис. 24.3). Этот цилиндр рассекался по всей длине горячим утюгом. Стекло становилось вязким, и его можно было раскатать на плоской и ровной поверхности, чтобы сделать более растянутым. Окончательная отделка состояла в полировке листа деревянным инструментом, выполненным из древесины мягких пород. Позже оно получило название «стекло из Лотарингии». При таком производстве много стекла билось, и оно получалось дорогим. Известна история из жизни средневековой Англии, иллюстрирующая отношение к стеклам в то время. Герцог Нортумберлендский, покидая свой замок, приказывал вынимать из окон стекла и прятать их в надежное место, чтобы они не побились [149]. Когда Мария Медичи повелела вставить в окна своего дворца прозрачные белые стекла вместо цветных витражей, это было воспринято как проявление неслыханной роскоши.

Наивысший расцвет производства венецианского стекла относится к XV в. Он связан с совершенствованием стеклодувной технологии и получением белого (молочного) стекла. Для этого в состав стекла стали добавлять диоксид марганца, мышьяк, сурьму, нитрат соды. Чистое, прозрачное, бесцветное и тонкое стекло называли хрусталем за его сходство с горным хрусталем по прозрачности и блеску. Честь этого изобретения часто приписывают семейству стекольных дел мастеров Беровьери и утверждают, что это открытие было сделано в 1463 г. Однако есть свидетельства, что небольшие



Рис. 24.7
Музей стекла в Мурано,
расположенный
во дворце Джустиниани
(фото авторов)

стекольные цеха в Вероне, Падуе, Болонье, Равенне и Ферраре делали такое «хрустальное стекло» еще с начала XV в. Семейство Аземар в середине XVII в. утверждало, что оно уже 200 лет производит стекло, похожее на хрусталь, в Лангедоке [54].

История производства стекла в Венецианской лагуне представлена в уникальном Музее стекла, основанном в 1861 г. и расположенном на острове Мурано во дворце Джустиниани (рис. 24.7, 24.8).

В экспозиции представлены тарелки, бутылки для воды и вина, чаши, бокалы, кувшины, вазы, флаконы для духов



Рис. 24.8
Вид на остров Мурано со стороны Венеции (фото авторов)



Рис. 24.9
Стекланный медальон
с изображением всадника, XIII в.
Музей стекла в Мурано

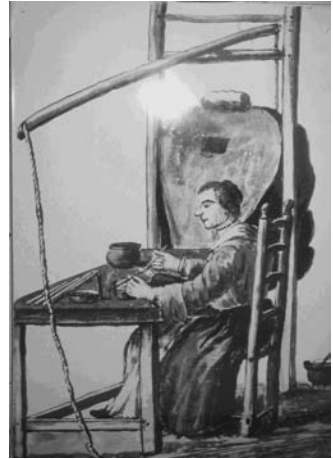


Рис. 24.10
Украшение
стеклянной продукции.
Из собрания Музея стекла
в Мурано
(фото авторов)



Рис. 24.11
Церковь св. Марии и Донато в Мурано
(фото авторов)



Рис. 24.12
Стеклодельный завод в Мурано
(фото авторов)



Рис. 24.13
Барельеф «Стеклоделы».
Музей стекла в Мурано
(фото авторов)



Рис. 24.14
Барельеф «Стеклоделы».
Музей стекла в Берлине

и баночки для притираний, зеркала, архитектурные украшения, люстры, а также браслеты, бусы и кольца. Обращают на себя внимание медальоны из стекла янтарного цвета с заштампованными в них изображениями (рис. 24.9, см. цв. вкл., ил. 35). На старинных кубках изображены знатные венецианцы — современники Ромео и Джульетты (см. цв. вкл., ил. 36). Целый зал посвящен материалам археологических раскопок. В узком коридоре на старинных рисунках показаны основные этапы изготовления стекольной продукции. Операции украшения стеклянных изделий обычно выполняли женщины (рис. 24.10).



Недалеко от дворца Джустиниани находится удивительная церковь Святых Марии и Донато, фрагменты пола и потолка которой изготовлены из стекла (рис. 24.11). Рядом располагаются несколько небольших стекольных заводов (рис. 24.12), сохраняющих старинные секреты венецианского стеклоделия. Фронтоны соседних зданий украшены символами стеклоделов (рис. 24.13). Подобные барельефы на своих мастерских стали помещать стеклоделы по всей Европе. Немецкий вариант такого барельефа представлен в берлинском Музее стекла (рис. 24.14).

24.3. ИСКУССТВО ВИТРАЖА

Стекло — это магия замерзшего света.

Вильгельм Вагенхельд

Слово *витраж* — производное от французского *vitre*, что в переводе означает «оконное стекло» (*лат.* vitrum — стекло). Это сюжетная или орнаментальная декоративная композиция из цветного стекла, рассчитанная на сквозное освещение и предназначенная для заполнения проема, чаще всего оконного, в каком-либо архитектурном сооружении.

В Средние века устройство оконных проемов состояло из нижней открывающейся части и неподвижной верхней части, выполненной из полупрозрачных материалов, например промасленной бумаги. Стеклянные окна считались дорогим удовольствием. До конца XVI в. стеклянные окна были лишь у небольшой части торговцев, а у бедных слоев общества остекление помещений произошло лишь в XIX в.

Техника крепления вставляемых в окна кусочков стекла в свинцовые рамы родилась и совершенствовалась в Византии. Эта техника не была известна римлянам, которые вставляли отливки или цилиндрические выдувные заготовки в деревянные рамы [121]. Такие же панели применялись и в Англии, например они были обнаружены в Силчестере и Чичестере. В Италии, где солнце светит ярче, тонкие пластины для окон изготавливались из алебаstra, как, например, в мавзолее Галлы Плацидии в Равенне (V в.). Пример алебастровой пластины, покрытой красками, приведен на иллюстрации 34 (см. цв. вкл.).

Оптические эффекты, создаваемые витражами, с давних пор использовались в храмах. Первые витражи, по всей вероятности, появились в ранних христианских храмах: окна заполнялись тонкими прозрачными пластинами камня (алебастра, селенита), составлявшими орнамент. Куски цветного

стекла укреплялись с помощью замазки в прорези деревянных или каменных рам, вставляемых в оконные проемы. Епископ города Пуатье, господин Фортунат, в IV в. описывал в стихах свое восхищение эффектом первых лучей восходящего солнца, пронизывающих цветные окна Парижского собора [2].

Как уже отмечалось, для получения цветного стекла при варке добавлялись окислы металлов: кобальт давал синий цвет, железо и медь — красный и зеленый разных оттенков. Красное стекло было малопрозрачным, поэтому мастера варки сплавляли тонкий слой цветного стекла со слоем белого. В XV в. подобный прием выполняли с синим стеклом для получения бледно-синего оттенка. Соединение рецептов варки кусочков цветного стекла, мастерства росписи по стеклу с техникой их свинцового обрамления в единое мозаичное панно и создало волшебный мир средневекового витража.

В V–VI вв. стеклянные витражи появились в окнах храмов городов Галлии, а затем Германии и Англии. Особенного расцвета искусство витража достигло в эпоху позднего Средневековья. Его назначение состояло в восхвалении Творца. Готические соборы поражают воображение не только стремительным вертикальным взлетом архитектурных конструкций, но и своим внутренним убранством. Благодаря художественному витражному остеклению создавалась праздничная освещенность, смягчалась сила света внутри помещения, доводя до совершенства его художественное оформление. Самые лучшие витражи созданы мастерами, которые были, вне сомнения, опытными ювелирами. Чаще всего на витражах изображались религиозные и бытовые сюжеты. Они размещались в огромных стрельчатых окнах, так называемых *розах*, несущих, как мы теперь знаем, и особое метафизическое содержание. Единство тварного мира как концентрическое нисхождение света из его центра со времен епископа Гроссетеста легко читалось в готических витражных розах всеми, кто был посвящен в христианскую метафизику света.

Старейшим из дошедших до нас фрагментов витража с полноценной росписью считается изображение головы святого из Лоршского монастыря, ныне хранящееся в Музее земли Гессен в Дармштадте [2]. Датируется этот фрагмент второй половиной IX в. Некоторые исследователи более ранним считают фрагмент витража из аббатства Вассенбург около Альзака на севере Франции. На прозрачном стекле изображена голова Христа (рис. 24.15), контур и затемненные части прописаны плотной, непрозрачной коричневой эмалью. Считается, что фрагмент был частично записан в позднее время. Самыми старыми сохранившимися целиком витражами Европы являются несколько изображений библейских пророков из Аугсбургского собора (конец XI в.). Они изготовлены с использованием техники закрашивания и тонального оттенения и сделаны из ярких стекол разного цвета.



Рис. 24.15
Витраж с изображением
Христа
из аббатства Вассенбург,
Франция. IX в.

Фрагмент одного из самых ранних английских витражей приведен на иллюстрации 37 (см. цв. вкл.) [121].

Первое руководство по изготовлению витражей написано вестфальским монахом Теофилом Пресвитером, известным также под именем Рогира. Ювелир и художник Теофил-Рогир жил и работал в бенедиктинском монастыре Гельмерсгаузен, находившемся в Падеборне (ныне — Нижний Гессен). Манускрипт «Записка о разных искусствах» создан им между 1100 и 1140 гг. Он состоит из трех книг. В первую входят 45 глав, описывающих различные материалы стенной и станковой живописи и методы выполнения отдельных живописных процессов, а также окраску кожи, изделий из дерева, миниатюрную живопись на пергаменте и бумаге. Вторая книга, которая была переведена на русский язык [49], состоит из 31 главы и посвящена изготовлению обыкновенного и цветного стекла, а также витражей. В третьей книге, состоящей из 95 глав, рассматривается плавка разных металлов и изготовление изделий из них. Последние четыре главы посвящены резьбе и окраске кости, шлифовке драгоценных камней и жемчугу.

Текст явился первоисточником многих последующих сочинений, приводящих разнообразные сведения о технике художественных ремесел, живописи и их материалах [50].

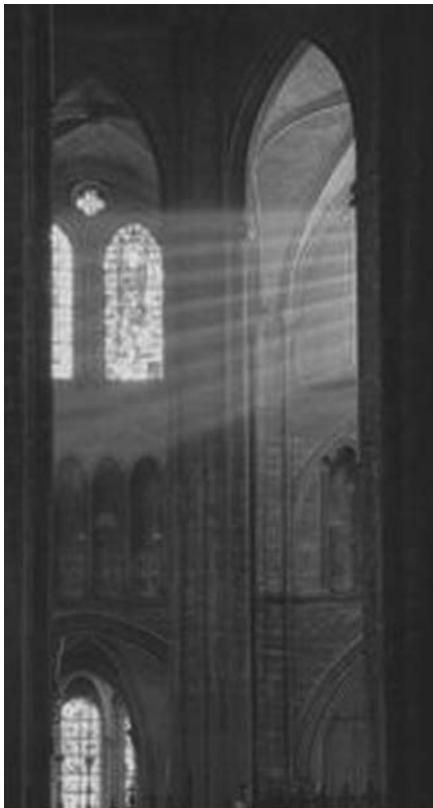


Рис. 24.16
Собор Сен-Этьен в Бурже, XIII в.

Процесс создания классических витражей мало изменился до нашего времени. Он начинается с изготовления цветного стекла. Речной песок смешивается с поташем, флюсом и известью. В Средние века стекло варили в сферических печах, используя в качестве тиглей керамические горшки. Окислы металлов добавляли в расплавленное стекло как красители. При этом получался довольно узкий спектр тонов. Стекло имело много изъянов в виде пузырей, затемнений, неоднородностей цвета. Эти дефекты благодаря игре света придают витражам особую прелесть. Кусочки цветного стекла вставляли в металлический профиль из свинца, а места стыков профиля пропаивались [55].

В витражном искусстве Средневековья были два периода — романский и готический.

В романской архитектуре витражи были менее разнообразными и художественно богатыми. Ранние окна этого стиля выглядят примитивными. От их созерцания в памяти остаются основные цвета: удивительно горячий красный и «как будто потусторонний синий» [290].

Готические витражи занимают большие оконные проемы, что повысило их роль в создании мистической световой атмосферы внутри храма. По сравнению с романскими в них отмечается более глубокий и конденсированный цвет. Расширяется цветовая палитра, исчезают орнаментальные элементы, их сменяют человеческие фигуры, вначале статичные, стоящие, потом и в самых различных позах.

Если в XI в. задачей витража было освещать помещение, то к XIII в. функция меняется: он призван, освещая, поучать.

До середины XII в. окна в храмах оставались небольшого размера, в них могли поместиться витражи с изображением лишь нескольких сюжетов. После 1150 г. размеры окон стали постепенно увеличиваться. Это привело к тому, что стены превратились в своего рода каркас для окон. Примерами могут служить взмывшие к небу соборы в Суассоне, Бурже (рис. 24.16), Шартре и Кентерберии.

Огромные окна готических соборов содержали целые повествования с многочисленными эпизодами. Наиболее совершенным образцом такой архитектуры стала королевская часовня Сент-Шапель в Париже, строительство которой началось после 1239 г. (см. цв. вкл., ил. 38, 39). Верхний зал пронизан 15 ажурными окнами, которые словно волшебной силой поддерживают тяжелый свод, а сами витражи содержат несколько сотен сцен, отражающих всю историю мира от его Сотворения до прибытия в Париж торжественной процессии со священными реликвиями Страстей Христовых, приобретенных Людовиком IX [290], для хранения которых, собственно, и создавалась часовня. Сверкание многоцветных витражей наполняет искрящимся светом верхнюю капеллу при любой погоде, независимо от условий внешнего освещения. Многие из них созданы на сюжеты из Священного Писания. Изображенные сцены, которые надо рассматривать снизу вверх, декоративно используют сочетание красно-синих и красно-желтых цветов, что продиктовано геральдическими традициями. Широко представлены изображения гербов и символов королевской власти, впервые появившиеся в витражах в XIII в. На иллюстрации 40 (см. цв. вкл.) приведен фрагмент одного из окон, демонстрирующий эти декоративные особенности.

С совершенствованием производства бесцветного прозрачного стекла и способов отжига, открытием новых красок улучшились способы изготовления, тематика и композиция витражей. Одна витражная панель могла насчитывать сотни кусочков стекла. Некоторые кусочки изымались, расписывались матовыми эмалевыми красками и повторно обжигались. Они скреплялись свинцовыми H-образными полосками. Высота окон достигала 18 м. Для прочности они делились на фрагменты и прикреплялись к металлической решетке, крепящейся снаружи.

Цвета стекол, применявшихся в витражах, были весьма разнообразны, что соответствовало высокому уровню стекловарения, достигнутому к тому времени мозаичистами. Знаток витражного искусства французский архитектор XIX в.

Виолле-ле-Дюк писал о шести обычных цветах стекол — синем, желтом, красном, зеленом, пурпуровом, белом и двух редких — красно-коричневом с золотистым отливом и темно-зеленом теплом. Каждый из этих цветов имел



Рис. 24.17
Старинная гравюра
с изображением мастера
по изготовлению витражей [122]

по три-четыре оттенка, а именно: синий — от чистого бирюзового до густого индиго; красный — от нежно-оранжевого до красного густого, крапленого под яшму; зеленый — от светлого зелено-желтого до зеленого бутылочного. Разные оттенки в витражных стеклах имел излюбленный в то время пурпуровый цвет: светлый теплый, темный винного цвета, светлый неяркий. Бесцветное (белое) стекло также имело несколько оттенков: желтоватый неяркий, зеленоватый, цвета морской волны, перламутровый. Дневной свет, проходя во внутренние помещения храмов через такие стекла, создавал поразительные световые эффекты.

В XIV в. свинцовые переплеты становятся тоньше и изящнее, рисунок напоминает книжную миниатюру. На старинных гравюрах [151] можно увидеть мастеров по изготовлению витражей (рис. 24.17) и ху-

дожников-декораторов. Вирази обычно приносились в дар храму монархами, знатными феодалами, духовными лицами высокого сана или же ремесленными корпорациями. Нередко мастера изображали самих себя за работой. До нас дошло изображение одного из таких мастеров витражных дел.

Появлением витражного многоцветия мы обязаны во многом труду алхимиков. Собор был огромной алхимической лабораторией, где совершалось таинство преобразования человека. Пропорции, статуи, рельефы храма были связаны с алхимическими знаниями. Особенно интересны в этом смысле собор в Шартре и собор Парижской Богоматери с его алхимическими медальонами в восточной части главного нефа.

Как известно, основной задачей средневековых алхимиков была трансформация неблагородных металлов в золото. Однако это лишь внешняя сторона великой науки, обращавшейся прежде всего к сути человека, а уже потом к мирским ценностям.

Настоящей целью мастеров было не химическое золото, а золото души, внутреннее, духовное преобразование. Но для этой цели был необходим философский камень.

Церковь, с одной стороны, осуждала деятельность алхимиков, а с другой — поощряла их усилия по поиску новых цветовых оттенков для витражного стекла.

Аббат Сугерий и витражное искусство. Расцвет витражного искусства в католической Европе невозможно оторвать от появления нового архитектурного стиля — готики. Его истинное место и время рождения — Северная Франция, аббатство Сен-Дени близ Парижа, 1140–1150-е гг., точнее, 14 июля 1140 г. В этот день по указу Сугерия, настоятеля Сен-Дени, началась перестройка монастырской церкви с использованием новых архитектурных элементов.

Смешение архитектурных традиций бургундской архитектуры (стрельчатая арка) с элементами архитектуры нормандской (нервюрный свод) привело к поразительным результатам.



При Сугерии, который носил сан аббата с 1122 г., монастырь претерпел коренные изменения. Земельные владения значительно расширились, ни одна другая епархия в стране не могла сравниться с Сен-Дени. Аббат контролировал каждый этап его реконструкции, которая началась в 1140 г. и продолжалась до самой смерти Сугерия в 1151 г.

Глава аббатства добился немалых успехов как на политической, так и на духовной арене. Его статус в высшем обществе был неоспорим, он пользовался огромным уважением и доверием королей (рис. 24.18).

Аббат всячески поддерживал Второй крестовый поход, во время проведения которого управлял страной вместо Людовика VII, назначившего священника регентом. С тех пор Сугерия стали называть не иначе как «отец отечества». Его волновало не только повышение мощи и престижа королевского двора, но и укрепление связей монархии с религией.

Гениальность Сугерия в том, что он объединил многие духовные и архитектурные идеи прежних, тяжелых и торжественных романских соборов, создав нечто доселе невиданное — готику, летящую и лучезарную архитектуру света. Он придумал оконные витражи, на которых изображены исторические и библейские сцены, а также витражную розу — круглое окно над главным входом храма (см. цв. вкл., ил. 41). Особенно аббат гордился витражами, которые стали, пожалуй, главным украшением обновленного Сен-Дени. Витражи аббатства объединены в циклы, имеющие общий сюжет. Один из них повествует о событиях Первого крестового похода, другой основан на литературном произведении, описывающем посещение Карлом Великим Святой Земли. Историки усмотрели связь витражных сюжетов со Вторым крестовым походом. В панно были включены жития святых, жизнеописания Марии и Христа. Окна стали эквивалентом рукописных текстов, описывающим жизненный путь христианских святых.

Освящение нового храма происходило в торжественной обстановке, в Сен-Дени съехалось все высшее духовенство страны. Высокий, наполненный солнечным светом клирос произвел такое сильное впечатление на епископов, что всю вторую половину века они посвятили строительству во Франции великолепных готических соборов. Сугерий испытывал настоящее счастье, когда в 1144 г. на новых хорах собора «музыкой ангельской» одновременно зазвучали 20 месс. А устремленный ввысь неф — совершенный образец готической архитектуры — спустя столетие зодчие приняли за эталон.



Рис. 24.18
Аббат Сугерий.
С картины из собрания
аббатства Сен-Дени, Париж
(фото авторов)



В 1150 г. завершились работы в церкви Сен-Дени, и почти тут же развернулось крупномасштабное строительство по всей Франции. В 1150–1160-е гг. начали возводить кафедральные соборы в Нуайоне, Лане, Пуатье, Париже, Сансе. А до конца века — в Шартре, Бурже, Реймсе. Видно, как рос опыт архитекторов и зодчих, как рвалась к небу их душа. Высота нефа собора в Нуайоне (1150–1200) чуть меньше 23 м, в Шартре (1194–1260) — 37,2 м, а в Амьене (1220–1270) — 42,3 м. Но все их призван был затмить собор в Бове, начатый в 1247 г. Строители пытались вознести свод как можно выше. Собор, пока его строили, обрушивался два раза — мечты архитекторов обгоняли их возможности — и так и не был достроен. Тем не менее даже в незавершенном виде сейчас это один из самых высоких готических храмов, высота его сводов более 47 м. Всего же, как считают исследователи, с 1150-х по 1250-е гг. только во Франции было создано более 150 сооружений в новом стиле, включая перечисленные огромные, со сложнейшей архитектурой соборы. За три столетия, прошедших с середины XII в., количество потраченного на возведение готических храмов камня превысило объем всех египетских монументов.

До нашего времени сохранилось несколько витражей из собора Сен-Дени, относящихся к XII в. (рис. 24.19–24.24).



Рис. 24.19
Витраж из базилики Сен-Дени, XII в.
Париж. Сугерий. Благовещенье



Рис. 24.20
Витраж с изображением
Древа Иессева, XII в.



Рис. 24.21
Бегство в Египет, XII в. (деталь)



Рис. 24.22
Витраж из базилики Сен-Дени
с изображением Медного змея



Рис. 24.23
Христос между двух церквей



Рис. 24.25
Фрагмент витража
с изображением сцен из жизни
св. Никаса.
Кафедральный собор в Суассоне,
первая четверть XIII в.

Рис. 24.24
Житие Моисея

В хронике монастыря говорится, что для их росписей были приглашены мастера из разных стран. Витражные мастерские Сен-Дени оказывали помощь в художественном оформлении и других соборов. Так, например, мастера изготовили три витража западного фасада собора в Шартре. На правом витраже изображена генеалогия Христа в символической форме Древа Иессея. Центральный витраж посвящен жизни Господа вплоть до въезда в Иерусалим. Тема левого витража — Страсти Христовы и Воскресение. На рисунке 24.25 показан фрагмент витража кафедрального собора в Суассоне с изображением сцен из жизни св. Никаса. Известно, что витражисты из Сен-Дени принимали участие в украшении этого собора.

24.4. СТЕКЛЯННЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ

Природа окружает человека мраком и понуждает его вечно стремиться к свету.

И. В. Гёте

Металлические и керамические лампы нашли более широкое применение в Средние века, чем лампы, выполненные из стекла, однако интерес к последним непрерывно возрастал. Наибольшее распространение стеклянные светильники получили в средневековой Франции. Первые археологические подтверждения их существования относятся к XII–XIII вв. (лампы Анжерского замка, городов Марселя и Сен-Дени) [152] (рис. 24.26). Сохранилось много иконографических и письменных источников, свидетельствующих об использовании стеклянных ламп.



Рис. 24.26
Господь на престоле.
Семь ламп символизируют
семь Божественных душ.
Фрагмент гобелена
из Анжерского замка [153]

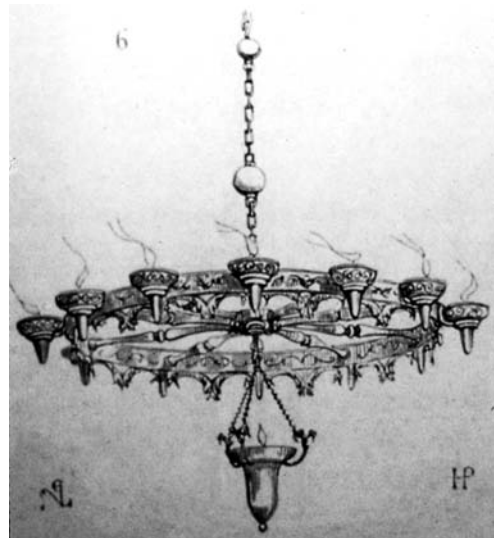


Рис. 24.27
Люстра — корона Света.
Витраж XVI в.,
Сен-Мартен-де-Труа [153]

В одном из ранних источников сообщается, что в 770 г. Карл Великий сделал пожертвования монастырю города Сент-Этьена, расположенного неподалеку от стен города Анже, для обеспечения освещения собора Св. Мориса. Создание освещения в те времена представляло собой невероятную роскошь. Так, в тексте VIII в. из аббатства Сен-Дени упоминаются «1250 масляных ламп, в которые надо было заливать восемь мер масла по три раза в день для проведения литургии».

Об использовании стеклянных светильников для освещения в общественных зданиях и частных домах хорошо известно (рис. 24.27), однако редкие упоминания, касающиеся уличного освещения, свидетельствуют и о существовании фонарей. В XIV в. предпринимались попытки создания постоянно действующего городского освещения. С 1279 г. фонари стали зажигать в ночное время суток на большом мосту близ Анже. В 1318 г. Филипп Длинный предписал установить фонарь рядом с въездом в Шатле. Во многих городах во время ярмарок или уличных процессий фонари освещали улицы, окна и входы в дома. О немногочисленности общественных фонарей свидетельствует название «рю де ла лантерн» («улица фонарей»), которое стали присваивать улицам в некоторых городах начиная с XIII в.

Камиль Анлар в «Учебнике по археологии» приводит сведения об использовании переносных фонарей. Внутри этих фонарей, изготовленных из стекла, находилась зажженная свеча. Подробная информация об этих переносных фонарях, менее распространенных, чем подсвечники для простых граждан, отсутствует.

Самой старинной и известной из дошедших до наших дней стеклянных ламп является светильник из Виллье-ле-Сека (VIII–IX вв.). Это уникальный случай использования освещения в эпоху Каролингов в сельской местности. До обнаружения лампы из Виллье-ле-Сека самой старой считалась лампа XII в., именуемая *жирар* (см. цв. вкл., ил. 42), найденная при раскопках в аббатстве Туссен д'Анже в 1845 г. [152].

Общей формой для большинства стеклянных светильников являлось основание в форме цилиндра или усеченного конуса и верхняя часть в виде чаши более или менее шарообразной или расширяющейся формы. Такая лампа отличается от других средневековых ламп малым диаметром и сильно удлиненным основанием, а также кромкой значительных размеров.

Случаи обнаружения стеклянных ламп в местах проживания людей довольно редки. В богатых и знатных домах стеклянная лампа зажигалась рядом с кроватью или крепилась к ее балдахину.

Витраж XII в. в церкви аббатства Сен-Дени показывает лампу над кроватью Жессе (отца короля Давида). Миниатюра «*Hortus Deliciarum*» (XII в.) демонстрирует лампу над кроватью Соломона (рис. 24.28). В изображениях на тему Рождества и Успения часто бывают показаны лампы, висящие над кроватью Богородицы. Алтарь французского художника Ангеррана Картона знакомит нас со св. Мартой, лежащей больной в кровати, рядом с которой поставлены лампы. Это отражает суеверную практику зажигания лампы, горящей и во время сна для отпугивания демонов. В монастырях, где проживало много монахов, таких как Сен-Мартен-де-Шан, стеклянные лампы оставались зажженными до утра, как предписывалось правилами св. Бенедикта.



Рис. 24.28
Светильник над ложем
царя Соломона.
Миниатюра XII в. [153]

Особое место занимали светильники, предназначенные для литургии. Можно сказать, что лампа даже является символом присутствия Бога: «Господь — свет мой» (Пс. 26: 1). На одном из витражей XIII в. собора города Лемана изображена Богородица рядом с алтарем, над которым подвешена стеклянная лампа.



Упоминания об освещении церковных зданий содержатся во многих текстах. Одним из первых является дарственная надпись эпохи династии Меровингов из Селейрана (департамент Од), согласно которой священник отдает дом за *luminaria sanctorum*. В уплату за освещение предлагались и земли. Топоним *лампа*, присутствующий в названиях некоторых полей или земельных участков, часто не имеет другой этимологии. Соборные положения города Браги в VI в. предписывали не осуществлять строительства церквей, если не имелось достаточных средств для обеспечения освещения, и распределяли церковные доходы по трем направлениям: одна часть шла епископу, другая предназначалась для духовенства, а третья — для создания и поддержания освещения. В IX в. архиепископ Реймса Хинкмар был озабочен тем, чтобы во всех приходах и часовнях его епархии имелось освещение. Первый канон Соборного устава провинции Тур, заседание которого состоялось в Сомюре в 1276 г., предписывал, чтобы во всех церквях, соборах, монастырях, обителях, коллегиальных церквях, домах настоятелей и приходах лампы горели днем и ночью (насколько это возможно). Такой способ освещения был необходим для того, чтобы не только наилучшим образом осветить церкви, но и придать роскошь ряду религиозных церемоний: всенощным мессам и вечерним воскресным службам при свете лампад, всенощным пасхальным бдениям, службам, проводимым в Троицу, сопровождаемым иллюминацией обрядом крещения, богослужениям в дни рождения святых, в Сретение Господне, а также заупокойным службам.

В больницах освещение являлось предметом пожертвований, при этом порой уточнялось, что лампа должна была быть размещена у постели больного.

Отчеты короля Рене (XV в.) сообщают о покупке лампы у некоего стеклянщика, чтобы поместить ее на лестнице одного из своих домов. Лампы предназначались для освещения только какой-то части дома. Недостатком такого освещения был выделяющийся черный и плохо пахнущий дым, что давало предпочтение использованию свечей. Кроме того, хрупкость материала и его стоимость не позволяли широко применять их для освещения в частных домах. Стабильному производству стеклянных ламп мы, вероятно, обязаны церквям.

Для размещения светильников отводились специальные места. Лампы, как правило, подвешивались в районе хоров (клироса) перед алтарем и всегда в нечетном количестве: возможно, здесь сказалось библейское влияние. Лампы часто размещали в секции, расположенной между нефом и поперечным нефом или при входе в хоры. С конца XII в. чести размещения постоянно горящего светильника был удостоен евхаристический резерв. Архиепископ руанский Эд Риго требовал создания именно такого освещения, на отсутствие которого он часто сетовал. В XIII–XIV вв. для установления ламп отводилось место в некоторых видах табернаклей — шатров для хранения предметов, используемых при проведении религиозных обрядов. Дошло до того, что светильники стали сравнивать с Господом, создателем мира: оливковое масло символизировало Гефсиманский сад, фитиль — душу Христа, а пламя — его божественность. В пожертвованиях на содержание освещения оговаривалось именно такое предназначение ламп. Уже в 1469 г. король Рене взял на себя расходы по содержанию лампы, «которая постоянно должна гореть пред телом Иисуса Христа» в церкви ордена францисканцев в Бометд'Анже. Назначение пожертвований на создание освещения является свидетельством персональной любви и почитания дарителя.

В книге записи умерших Анжерского собора сделана отметка о дарении масла для лампы, установленной перед Распятием. В графстве Венессен жертвовали денежные суммы на освещение статуй святых покровителей прихода. В конце Средневековья особенной чести установления перед ними светильников были удостоены образы Богородицы. Повествуя об обнаружении статуи Подземной Богородицы (начало XV в.), летописец подчеркивает, что при ней имелась стеклянная лампа [152]. Что касается ламп, размещенных перед могилами и мощами святых, то эта практика восходит к захоронениям ранних христианских мучеников. Эти лампы, обнаруженные в средневековых храмах и практически всегда выполненные из стекла, очень хрупки. Например, известен факт покупки лампы у одного художника по стеклу для часовни короля Рене по причине того, что «пажи указанного Его Величества Короля разбились другую».

По окончании срока службы лампы иногда «хоронили» рядом с церковью. В Ганагоби из одного такого «захоронения» было извлечено 16 ламп. В Руане были найдены лампы, замурованные в стенах церкви ордена августинцев.

Как любой предмет, больше не используемый для богослужения, лампы уничтожались и предавались священной земле.

Во многих средневековых источниках, говорящих об освещении, бывает трудно понять, делается при этом намек на лампы, восковые или стеариновые свечи или же на горящие головни (соломенные факелы). Иногда вид светильников можно установить по упоминаниям, касающимся топлива, используемого для горения. В лампах, выполненных из стекла, наиболее широко применяемых в церквях, использовалось только масло. Во многих счетах содержатся данные о значительных количествах масла, которое необходимо было иметь про запас. Масло часовни короля Рене содержалось в чане, вмещавшем приблизительно восемь канн (специальная мера жидкости для измерения масла, около 1,4 л).

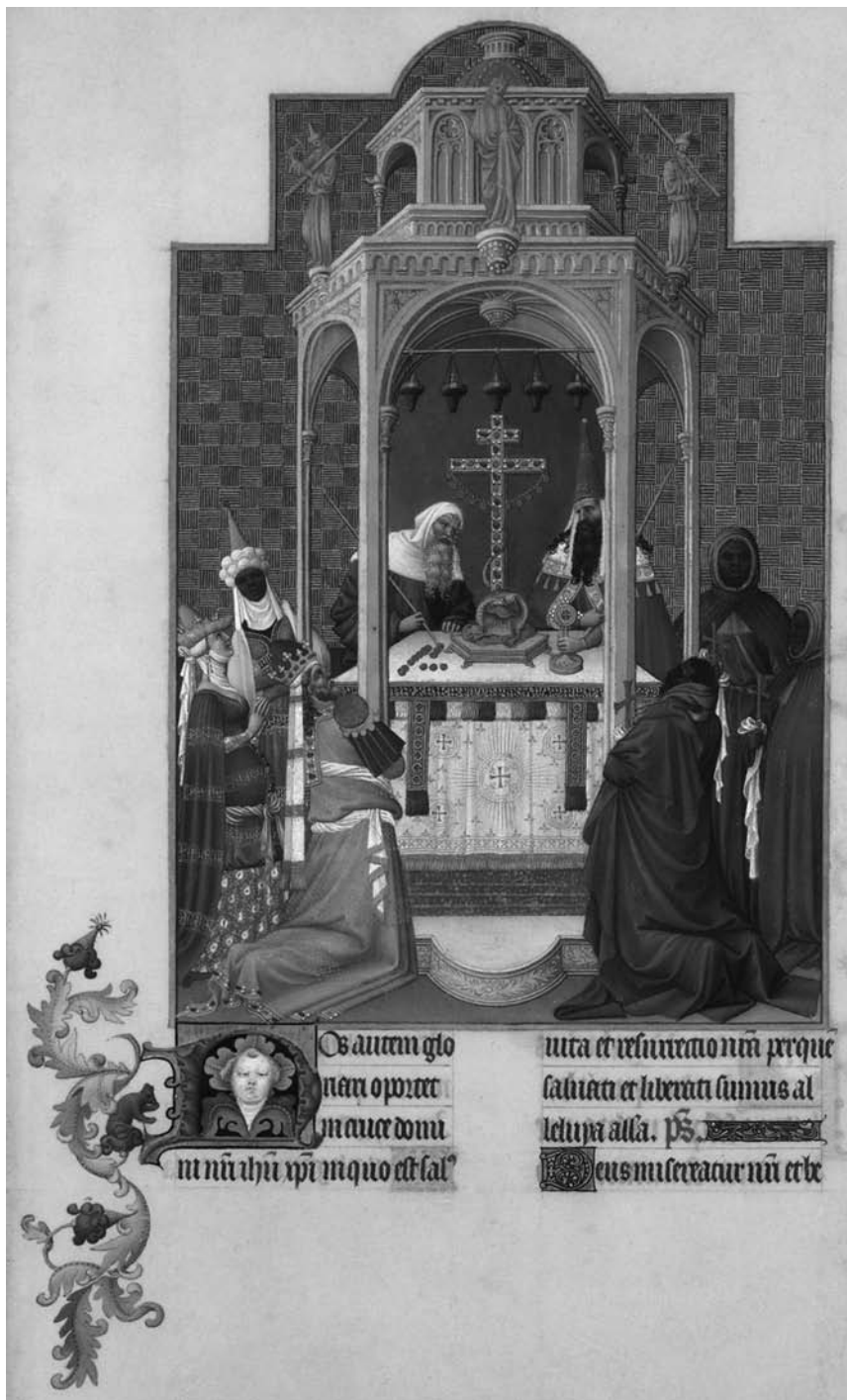


Рис. 24.29
 Лампа вверху алтаря, где находится ковчег Истинного Креста.
 Миниатюра XV в. [153]

На дно лампы заливали воду, а сверху масло, в котором плавал фитиль. Он мог быть изготовлен из различных материалов (шерсть, пенька, лен, ткань) в зависимости от региона. «Слово о громких криках парижских торговцев» (XIII в.) повествует о фитилях, выполненных из тростника: «У меня есть готовый тростник, чтобы использовать его для ламп». Фитили должны были располагаться в центре лампы из-за хрупкости стекла и для наилучшего распространения света. Вместе с лампами иногда находили гибкие и прочные металлические стержни.

Немногие лампы имели плоские или слегка вогнутые основания, чтобы возможно было их поставить. Большинство из них из-за узкого основания, расположенного на ножке конической формы, должно было иметь какую-нибудь опору.

В некоторых церквях существовали большие люстры в форме короны, несущие множество свечей или ламп, как на витраже из церкви Сен-Мартен, расположенной близ Труа. Первые упоминания об этом относятся к IV в., последние датируются XVI в. Тем не менее эти богатые подвесные конструкции были редки. Святой Бернар осудил применение «колеса в окружении огней». Тексты ссылаются также на существование подвесных светильников-люстр. На большинстве средневековых икон изображены подвесные лампы, имеющие характерные формы, которые могли быть выполнены только из стекла, даже если оно не было прозрачным. Эти лампы были окружены металлическим обручем, из которого выходят три цепи. Такая конструкция существовала уже в раннем Средневековье, но художественные свидетельства, дошедшие до наших дней, изображают металлические лампы в форме кубка или чаши (Библия Карла Лысого, настенная роспись в церкви Св. Климента в Риме). Павел Тихий, живший еще в VI в., так описывал стеклянные люстры: «Со всех сторон серебряные диски, которые золотых и серебряных дел мастер сумел вырезать, чтобы поместить туда *хрустальные лампы*, удерживаемые чередующимися кольцами цепей».

Более сложные конструкции известны благодаря художественным произведениям позднего Средневековья. Если имелось несколько ламп, наиболее распространенной и самой простой считалась система с нанизанными на горизонтальный стержень кольцами. Прекрасный образец такой конструкции изображен на миниатюре «Воздвижение Креста Господня» из Великолепного часослова герцога Беррийского (рис. 24.29).

Благодаря последним археологическим открытиям о средневековых стеклянных светильниках нам становится известно все больше. Но мы располагаем ограниченным числом полностью сохранившихся ламп. В начале Нового времени в отношении этого типа изделий из стекла проявлялась некоторая нелюбовь. В частных домах все чаще использовались керамические и металлические лампы. Церкви также стали заменять свои стеклянные лампы на серебряные, медные или оловянные. Что касается типологии стеклянных светильников, ее еще следует установить, равно как и местоположение мастерских, которые производили такие лампы.

Я в этом не виновато!

Надпись на зеркале

Средневековье стало временем больших технологических достижений в изготовлении зеркал. Именно в эту эпоху на смену бронзовым зеркалам пришли стеклянные. На это повлияли два обстоятельства: разработка венецианскими мастерами технологии изготовления прозрачного стекла оптимального качества и открытие средневековыми алхимиками процесса амальгамирования [72].

Проводимые по всей Европе, хотя и осуждаемые церковью, алхимические поиски философского камня включали в себя опыты со ртутью. Замечено, что после некоторых манипуляций стеклянные колбы и пробирки изнутри покрываются устойчивой и несмываемой зеркальной пленкой, алхимики стали изучать этот эффект и тем самым заложили основы будущего мануфактурного производства зеркал. Естественно, что свилеватое и мутное стекло, пригодное для изготовления химической посуды, не годилось для создания четких отраженных образов — требовалось стекло оптимального качества. Начались поиски способов повышения его прозрачности, однородности и бесцветности, что и удалось достичь венецианским стеклоделам из Мурано. Поскольку технологии получения плоского листового стекла еще не было, зеркала долгое время оставались выпуклыми в соответствии с формой дутых стеклянных шаров. Это придало особый стиль средневековым интерьерам, отражавшимся в таких зеркалах со значительными искажениями. По этой же причине плоские полированные зеркала из бронзы или серебра некоторое время сосуществовали с дутыми металлизированными зеркалами.



В начале новой эры обычай заделывать зеркала в стены распространился по всей Греции. Об этом упоминает Павсаний, который, посетив храм Артемиды в Аркадии и осмотрев его убранство, отмечал, что «справа сразу у входа в храм в стену вделано зеркало». Мода на стенные зеркала охватила и римлян, что подтверждается находками, сделанными, например, в домах жителей Помпей. После того как эта мода укоренилась, зеркала начали размещать внутри наиболее роскошных жилых помещений. Сенека, бичуя проявления избыточной роскоши, писал: «Мы считаемся бедными и жалкими, если стены наших домов не украшены огромными дорогостоящими зеркалами». Тем не менее он тут же утверждал: «Зеркала были изобретены, чтобы человек познал самого себя, извлекая из этого много выгод на будущее, прежде всего знание себя, затем полезные суждения в различных ситуациях. Прозрачный источник или полированный камень

каждому возвращает его образ». Апулей писал о пользовании отражающими зеркалами и находил это изобретение более простым и быстрым в передаче изображений, чем скульптуры и иные искусства. Он отмечал, что зеркало позволяет, в отличие от скульптурных портретов и фресок, видеть движение людей [367].

Прежде чем обратиться к истории знаменитых венецианских зеркал, остановимся на предмете, важном для понимания развития оптической науки катоптрики — античных и средневековых «удивительных» зеркалах — зажигательных, предсказательных и искажающих.

25.1. ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ ЗЕРКАЛА

Античность оставила много сведений о вогнутых зеркалах для концентрации солнечных лучей и воспламенения различных горючих материалов. Все они хорошо известны и многократно описаны [76]. Многие античные философы (Эмпедокл, Евклид, Диокл, Горгий) с общефилософских позиций объясняли способность зеркал из бронзы или серебра усиливать энергию солнечных лучей. Имеются описания вполне реальных событий, таких как ритуал получения олимпийского огня от солнца или священного пламени для Дельфийского оракула. Той же теме посвящены некоторые древнегреческие мифы, а также легенда о сожжении римского флота Архимедом в гавани Сиракуз. Поскольку датировка сохранившихся упоминаний об этой легенде приходится на европейское Средневековье, есть смысл дать краткий обзор этих источников: почти в каждом тексте приводятся реминисценции и аналогии, позволяющие почувствовать восприятие зажигательных зеркал средневековыми мыслителями.

Наиболее древние описания зажигательного зеркала принадлежат Евклиду (вогнутое сферическое зеркало) и Плутарху (вогнутое коническое зеркало). Они воспламеняли паклю и другие сухие материалы, но Гален заключил из этого, что флот Марцелла при осаде Сиракуз в 212 г. до н. э. мог быть уничтожен именно таким способом (рис. 25.1). С тех пор история о зеркале Архимеда, основанная на коротком отрывке из работы греческого медика, широко распространилась во многом благодаря византийским источникам.

Основные дошедшие до нас источники, содержащие описания зажигательных зеркал, относятся к XII–XIII вв., когда внимание арабских мудрецов и европейских схоластов привлекли катоптрические опыты и явления. Отражающее солнечный свет оружие неоднократно описывалось византийцами.

В заканчивающейся 1118 г. «Летописи» Иоанна Зонары, историографа и сановника двора Алексея I Комнина, упоминается, что Архимед не ограничился тем, чтобы раздавить римские корабли камнями [126]. Разбив их вдре-



Рис. 25.1
Архимед, сжигающий отражательным зеркалом римский флот

безги, он поднял обломки в воздух и бросил обратно в воду, где уничтожил их огнем. Как рассказывает начитанный византиец, «затем он сжег весь римский флот удивительным изобретением. После того как какое-то зеркало было подвешено поверхностью к солнечному свету, оно вобрало его лучи, с помощью которых воздух, раскаленный хорошо отполированной и плотной толщиной этого зеркала, направил большую вспышку пламени прямо на корабли, превращая все их в пепел. Так Марцелл потерял надежду». В контексте этого рассказа зажигательное зеркало в стратегическом плане сражения как бы наносило последний удар.

Та же «Летопись» упоминает использование подобного оружия при обороне Константинополя, осажденного Виталианом при императоре Анастасии в 514 г., семь веков спустя после подвига Архимеда. Автор летописи ссылается на Диона Кассию (III в.), описавшего оборонительные сооружения Византии по модели сиракузских. Дион приписывал их строительство некоему Приско [109]. Согласно Зонаре сражения также проводились в два этапа: сначала использовались механизмы катапульта, лебедек и шарниров, затем последнее усовершенствование — зажигательное зеркало. По мнению Зонары, все это было задумано Проклом, философом-неоплатоником V в., толкователем Евклида и выдающимся ученым: «Потому говорится, что он изготавливал зажигательные зеркала из бронзы, которые прикреплял к стенам перед вражескими кораблями; когда лучи солнца попадали на них, получавшийся огонь с такой силой отражался на вражеские корабли и гребцов, что все сгорало. Это было изобретено Архимедом во время осады Сиракуз римлянами» [126]. Из этих рассказов следует, что было несколько металлических зеркал, которые укреплялись на стенах осажденных городов напротив солнца и моря.



Рис. 25.2
Сожжение римского флота
в гавани Сиракуз.
Фрагмент иллюстрации
из «Перспективы» Вителло, 1572 г.

Более подробное описание этих сооружений можно найти в «Хилиадах» («Книге историй») Иоанна Цеца, византийского писателя, жившего после Зонары: «Когда флот Марцелла был на расстоянии выстрела из лука, старец (Архимед) распорядился построить шестиугольное зеркало. Вокруг этого зеркала он расположил на определенном расстоянии другие зеркала, более маленькие и квадратные, которые можно было передвигать на шарнирах и пластинках. Он поместил это зеркало в центр солнечных лучей... Когда лучи солнца отразились, ужасный огонь вспыхнул на кораблях, которые были превращены в пепел на расстоянии выстрела из лука» (рис. 25.2) [104].

О наличии общего источника у этих описаний свидетельствует повторение некоторых слов и одинаковое описание механизма, который теперь представлен

в другом контексте. Зажигательное зеркало больше не служит для совершенствования разрушительного действия, сжигая корабли, уже разнесенные на куски дьявольскими машинами, т. е. значительно приблизившиеся к берегу. Оно уничтожает их в открытом море до того, как те подойдут на расстояние выстрела. Указано расстояние, на которое летит выпущенная из лука стрела, оцениваемое в 150–200 шагов. Комментируя другой античный текст («Илиаду» Гомера), епископ фессалоникийский Евстафий, умерший в 1192 г., соглашается с такой оценкой [276]. В тексте Цеца говорится не о простом сферическом зеркале Евклида, а о сложном механизме, состоящем из частей, соединенных в определенную структуру.

Другой средневековый трактат XIII в. о воспламенении предметов с помощью отраженных солнечных лучей также отмечает необходимость для этого некоей составной зеркальной конструкции: «Получить огонь с помощью единственного плоского зеркала, обращенного к солнцу, невозможно; однако это возможно с помощью нескольких зеркал» [126]. Данное утверждение из пятой книги «Перспективы» Вителло основано на различных многозеркальных системах, приписываемых великому византийскому архитектору VI в. Анфимию Тралльскому: «Анфимий на основании эксперимента утверждает, что достаточно 24 отражений [зеркал], направленных в одну точку воспламеняющегося материала, чтобы зажечь его».

Более эффективное устройство, упомянутое Цецем и заимствованное им из того же источника, состоит из системы семи шестиугольных зеркал, одно из которых находится в центре. Эта машина якобы могла воспламенять на любом расстоянии при условии, что ее элементы не закреплены на одной плоскости, в случае чего они образовали бы одиночное зеркало, которое не зажигает огонь. «Однако эти шестиугольники сочетаются друг с другом так, чтобы можно было вписать их в сферу. Тогда из центра сферы отражаются все лучи, которые падают... перпендикулярно к этим поверхностям, что увеличило бы степень жара. Поэтому было бы лучше составить подобное зеркало из треугольников, а не шестиугольников, чтобы количество лучей было равным количеству поверхностей». Как видим, ни в тексте Зонары, ни в описании Цеца нет и намека на параболическую форму зажигательного зеркала, которая к тому времени уже была обоснована в математической части катоптрики трудами Диокла и Альхазена.

В «Романе о розе», своего рода энциклопедии XIII в., похожие составные устройства упоминаются без акцента на их вогнутой форме: «Другие зеркала — те, что воспламеняют вещи, на которые обращены, расставлены так, чтобы собрать вместе лучи, когда солнце светит на зеркала» [292].

Средневековая схоластическая традиция восприняла античные и арабские знания о форме вогнутых зажигательных зеркал. В девятой книге трактата Вителло зажигательным зеркалам уделено немало места, а одно из утверждений прямо свидетельствует, что «с помощью вогнутого сферического зеркала, обращенного к солнцу, можно получить огонь». Ниже, со ссылкой на Анфимия [214], добавлено, что соединение различных устройств в зажигательной системе значительно повысило бы ее эффективность. Такие устройства можно увидеть на иллюстрациях в издании Риснера 1572 г., на которой изображены многие оптические явления. Три зеркала, похожие на круглые щиты, расположенные на вершине башни, поджигают корабли. В той же

книге появляются и два устройства (с плоскими и вогнутыми элементами), предложенные предшественниками Вителло для защиты крепостей.

И Бэкон, и Вителло, и Пеккам знали, что структура отражающего элемента для зажигания огня может быть улучшена. Именно параболическое сечение, заимствованное ими у Альхазена, принимая параллельные лучи, максимально концентрирует их в точке своего фокуса [215], [374]. Формула для определения этой точки находится в утверждениях практически всех средневековых «Перспектив». Она определяет кривую, актуальную для всех последующих разработок, вплоть до экспериментов наших дней, касающихся термического применения солнечной энергии.

Роджер Бэкон, занимаясь этим вопросом, писал: «Экспериментальная наука поручает геометрии начертить для нее фигуру овального или кольцеобразного либо близкого к этим формам (т. е. параболического) зеркала таким образом, чтобы все фигуры, образованные сферическим телом на вогнутой поверхности зеркала, составляли одинаковые углы наклона. Но геометрия не знает, для чего может служить изготовленное на основании этого зеркала, и не умеет его использовать». Между тем его практические применения неисчислимы: «Экспериментатор с помощью этого зеркала может зажечь любое воспламеняемое тело, расплавить любой металл, прокалить любой камень; он может разрушить любую армию или крепость, которую захочет разрушить, не только вблизи, но и с той дистанции, с которой захочет». Затем Бэкон упоминает отрывок из Плиния о возможностях этих устройств и продолжает: «Двенадцатью зеркалами такого рода можно сжечь сарацин и татар, не проливая крови».

Даже в позднем Средневековье подобные механизмы пользовались популярностью: «стальное зажигательное зеркало» упоминается, среди прочего, в инвентарной описи графини де Монпансье за 1474 г. [291], а Корнелиус Агриппа отмечает: «Изготавливаются зажигательные зеркала, которые собирают в себя лучи солнца, а затем отражают их непосредственно на любую материю, способную гореть, и поджигают на значительном расстоянии» [360].

Таким образом, происхождение зажигательного зеркала, которое всегда было окружено легендами, относится к древнейшей эпохе. События, связанные с этой технологией, следуют друг за другом между III в. до н. э. и концом II в. н. э. Однако первые подробные описания событий при защите Сиракуз относятся только к XII и XIII вв., отсылая нас уже к византийской эпохе и обороне Константинополя (VI в.). Античная и средневековая легенда возродилась в эпоху Просвещения, когда практически во всех европейских кабинетах оптики присутствовали металлические зажигательные параболы.

25.2. ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫЕ ЗЕРКАЛА

О чудесных свойствах зеркал человечество размышляло с самых древних времен. Зеркала были и во многом остаются атрибутом магов, астрологов, предсказателей и других служителей иррационального мира (рис. 25.3, 25.4).

Архаичные и античные примеры помогут лучше понять специфику средневековых взглядов на метафизическую катоптрику.

По преданию, Моисей сошел с Синая с лицом, преображенным непереносимым светом, его кожа стала подобна металлу и отражала все величие Иеговы.



Рис. 25.3
Дельфийский оракул:
гадание по отражению в воде.
Краснофигурный медальон, V в. до н. э.,
Музей древностей, Берлин



Рис. 25.4
Селен с гадательным
зеркалом.
Фреска I в. н. э.,
Помпеи

Человеку нельзя видеть лица Господа и остаться в живых (Исх. 33: 20). Но Моисей, стоя пред ним, мог бы увидеть его в зеркальном отражении. У истоков этой версии божественного события, несомненно, было почти полное тождество на иврите слов «зрение» и «зеркало». Толкования раввинов, относящиеся ко II в. н. э., даже воссоздают форму отражающего средства: это выпуклый сферический щит, закрывавший ларь с реликвиями, в котором изображения мира представляли уменьшенными. Его аналогом была бронзовая чаша, находившаяся перед дарохранительницей, вогнутое зеркало, выкованное из зеркал израильских женщин, которое увеличивало предметы. Тот, кто собирался принести жертву, смотрелся в него, чтобы понять, угодна ли эта жертва Господу.

Божественное видение посредством зеркала упоминалось и в греческих текстах. Порфирий во II в. говорил о зеркале, которое показывает невидимое.



Зеркала считались окнами в потусторонний мир, заселенный душами умерших и доступный только богам. Древние верили, что в зеркало может вселиться божество, если призвать его ритуальными действиями. Они видели в зеркалах символическое изображение Солнца, позволявшее изменить направление потока солнечных лучей. Округлая форма и способность зеркал создавать ослепительный отраженный луч делали их словно уменьшенной копией небесного светила. Считалось, что поверхность зеркала может отражать не только реальность, но и тонкие материи: душу, космические энергии, живительные силы, астральные послания.

Евангельские зеркальные метафоры в Посланиях св. Павла родились из сплава ветхозаветных представлений и античной зеркальной метафизики. Видение мира непросветленной душой он описывает с уточнением: *гадательно* (1 Кор. 13: 12). Но душа, открытая Господу, просветляется: «Мы же все

открытым лицом, как в зеркале, взирая на славу Господню, преображаемся...» (2 Кор. 3: 18). Возможно, что это метафора непрямого и несовершенного зрения, а может, — аллюзия на гадание по зеркалам, которое показывает неведомое через смутные отражения. Также думали, что загадка св. Павла была цифрой, эмблемой, означавшей одну вещь посредством другой. Эти тексты, сами являющиеся загадочными, интерпретировались различно.

Самое древнее дошедшее до нас упоминание гадательного зеркала находится в театральном произведении, и Аристофан в этом предшествует Шекспиру и Гёте. Он вставил описание зеркального прозрения в комедию «Ахарняне», поставленную еще в 426 г. до н. э. В ней некто Ламако обращается к зеркалу, прежде чем отправиться на войну против Спарты.

Два зеркала, одно из которых водное, во II в. н. э. описывает Павсаний: «Говорится, что фонтан [храма Деметры] в Патрах дает предсказания, которые никогда не ошибаются: к нему обращаются не по всевозможным проблемам, а только в связи с состоянием больных. Зеркало подвешивается на конце веревки, и его держат так, что только край касается воды. Затем обращают молитвы к богине, сжигают благовония в ее честь и вскоре смотрят в зеркало. Там видно, поправится ли больной или умрет». Далее греческий географ добавляет: «Этот род предсказаний дальше не идет. Однако в Кианее, в Ликии, есть оракул Аполлона, который более универсален, потому что, посмотрев в фонтан, посвященный этому богу, можно увидеть отраженным в нем то, что хочется знать» [288].

Апулей во II в. писал: «Я помню, что читал у Варрона, философа с глубоким знанием науки и эрудицией, что в Трале ребенок, которого магическим способом спросили об исходе митридатской войны, увидел в воде изображение Меркурия и уведомил в пророчестве из 160 стихов о том, что должно произойти».

Спарциан в IV в. в «Истории Августов» рассказывает о другом способе, использовавшемся для этих же действий: «Юлиан обращался к откровениям, происходившим в зеркале, в котором несколькими детям заворожили глаза и заколдовали голову, и они видели будущее. Говорят, что один ребенок увидел таким образом наступление Севера и падение Юлиана» [347]. Так император заранее увидел исход сражения, завязавшегося между Туллием Криспином и вражескими войсками, двигавшимися к Риму.

При гаданиях жидкое и металлическое зеркала взаимозаменяемы. Джамблико в начале IV в. упоминает их вместе в отрывке об иллюзии: «...но боги и их свита проявляются в своих точных копиях и никоим образом не предлагают призраков себя самих, какими были бы отражения, образованные водой и зеркалами» [227]. Зеркало и вода в равной степени являются истоком этих фантазмагорий.

«Отразиться и увидеть свое изображение, верно воспроизведенное в зеркале, — это хороший знак для тех, кто хочет заключить брак, как для мужчины, так и для женщины: зеркало указывает мужчине жену, а женщине мужа. Это также хороший знак для скорбных, потому что отражается тот, кто лишен тревог», — так написано в просвещающем тексте II в. — «Книге снов» Артемидора Далдианского [216]. Он объясняет появление магических зеркал в снах человека в соответствии с темами предсказаний, которые совпадают

с классическим рассказом Павсания: «Другим лицам это предписывает сменить место. Увидеть себя более некрасивыми или искаженными никому не приносит пользы: это означает болезни и печали, как и отразиться в воде предвещает смерть самому отразившемуся или одному из наиболее близких к нему людей». Водные откровения также занимают свое место в гадании по приснившимся зеркалам.

С помощью сосуда с водой Илларион, монах, известный своими добродетелями и чудесами, открыл одному христианину причину его мучений: тот должен был исполнить конный номер в цирке, но это никогда ему не удавалось. Смотря в прозрачную поверхность, несчастный с огромным изумлением увидел появление своего экипажа со зверями, телегами и закованными в цепи людьми. Колдовство было разрушено знаком креста. Рассказ этот был приведен теологом и эллинистом Исааком де Казобоном. Сохранилось множество античных изображений устройств, подобных использованному Илларионом [126].

Чудо святого, который раскрыл христианину дьявольские козни, совершено в конечном счете способом, который был опробован язычеством и встречается в одной из легенд Средневековья, рассказанной Григорием Турским в VI в.: «В Вифлееме существует большой колодец, из которого черпала воду знаменитая Мария. Часто можно увидеть великолепное чудо, а именно: чистые сердцем люди могут увидеть там явившуюся Волхвам звезду. Верующие, приходя, наклоняются над ограждением колодца. Над их головой натянута ткань, и если кто-либо по своим заслугам достоин этой благодати, то он видит, как звезда движется по поверхности воды от одной стены колодца до другой, как звезды проходят по небесной орбите» [202].

У Спарциана и Варрона откровения даруются только подросткам с чистым взором, а здесь пророческую звезду видят только непорочные люди. «Если разные люди смотрят в колодец, — продолжает епископ Турский, — только те, чьи мысли чисты, видят появление звезды. Недавно наш дьякон сообщил, что, когда он посмотрел в колодец с пятью людьми, только двум из них явилась звезда».

Так эллинистическая традиция странным образом возрождается в апокрифе Нового Завета. Еще позже эту легенду заимствуют Петр Коместор (XII в.), Гервасий Тильберийский (XIII в.) и Фабер (XV в.), который также упоминает ее в своем «Путешествии в Святую Землю» [126].

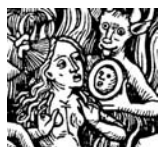
Епископ Шартра Иоанн Солсберийский в середине XII в. ссылается на *спекуляриев*, магов своего времени, «которые практиковали предсказание по полированным и блестящим предметам, таким, как сверкающие мечи, водоемы, сосуды и зеркала любого рода, которые отвечали на вопросы тех, кто к ним обращался». В связи с этим он спешит вспомнить отрывок из Книги Бытия (44: 5): «Иосиф продолжил или, скорее, сделал вид, что продолжил таким же образом со своей чашей, которая служила ему для питья и гаданий и которую похитили его братья, когда покидали Египет».

Между тем церковь всегда относила языческие гадания к дьявольским козням. «Гадание по воде, — писал св. Августин еще в конце IV в., — отражает в воде изображения богов, то есть мистификации и иллюзии демона. Согласно Варрону этот способ предсказания пришел из Персии. Он исполь-

звался Нумой Помпилием, а впоследствии философом Пифагором» [137]. Так, ссылаясь на стих Священного Писания в отношении зеркальных приборов, епископ Шартрский впал в ересь, которую он, впрочем, не стал продолжать.

До начала XIII в. гадания, совершаемые по отражающим поверхностям, считались запретными действиями. Причем осуждались и более обогащенные ритуалы с использованием разнообразия отражающих элементов. Так, к зеркалам и чашам Иоанн Солсберийский добавляет новые артефакты: «Есть демоны, которых видят только девственницы: целомудренная плоть действительно обладает наибольшим духовным видением. Поэтому некроманты утверждают, что в экспериментах с мечом, зеркалом, ногтем и кругом только глаза девственниц достаточно одарены» [126]. Греко-римские представления о непорочном зеркальном медиуме трансформируются в Средние века в греховные деяния для порочных откровений, способных свергнуть человека в «искушения прелестью».

Михаил Скот описывал эксперименты с водой, жидкой или замороженной, с зеркалом, кристаллом или иным прозрачным драгоценным камнем, замечая, что время Юпитера, Солнца и Меркурия особенно благоприятно для заклинаний с водоемом, чашей или зеркалом. Необходимо произнести следующие слова: «О дух Флораджет, что делаешь ты, великий и могущественный князь? Почему медлишь? Именем всемогущего Бога немедленно приди в то место, где находится это прозрачное тело, в котором я ожидаю тебя увидеть. Пусть никакие узы не помешают тебе прибыть, чтобы ответить на мои вопросы. Немедленно приди в этот сосуд или в это зеркало, явись передо мной видимым в человеческой форме» [355]. По мнению Скота, успеху общения может способствовать присутствие девочки пяти-семи лет.



Имя Флораджет ассоциировалось с металлическими зеркалами и в определенной степени было наследным в длинной череде подобных. Имя Флорет можно найти в текстах, приписываемых царю Соломону [167], об адских духах, появляющихся в виде умерших и отвечающих, когда их спрашивают. Возможно, средневековым распространением имени этого демона Запад обязан апокрифу Соломона. Для стеклянных зеркал, о которых речь ниже, выбирались другие имена, например ассоциированные с технологическими терминами венецианцев.

Два таких гадательных зеркала — Фиороне — упоминаются в XIV в.: одно было обнаружено в доме римского трибуна Кола ди Ринцо, убитого в 1354 г. во время восстания, другое — под подушкой епископа Вероны, которого Мاستино делла Скала приговорил к смерти. Они были колдовскими предметами, дурным предзнаменованием для своих владельцев [270].

В главе, посвященной вызову демонов, Николай Эймерик, инквизитор Арагона с 1358 г., упоминает, с одной стороны, злонамеренных призраков в зеркалах и кинжалах, с другой — «Таблицу Соломона», которую он объявляет незаконной как подозреваемую в ереси [181]. Трактат «Истинный гримуар, или Самые достоверные ключи», от которого дошли различные поздние версии [204], также содержит рецепт «Зеркала Соломона»: «Возьмите немного вогнутую блестящую и хорошо отполированную пластину тонкой

стали, и на четырех ее углах напишите кровью белого голубя имена Иегова, Элобин, Метратон, Адонай, и поместите вышеуказанную сталь в белую ткань, когда увидите новую луну. И скажите: „О вечный царь! О вечный царь! Пошлите вашего ангела Анаэля“. Затем налейте на раскаленные угли подходящие благовония и, наливая их, скажите: „О бог мой, который должен судить века огнем, выслушайте мою просьбу“. Повторите это три раза и, сказав это, дуньте столько же раз на зеркало, говоря: „Анаэль, придите... придите, Анаэль, во имя ужасного Иеговы, придите, Анаэль, во имя бессмертного Элобина. Придите, Анаэль, как рука всемогущего Метратона и скажите ваше имя на зеркале, и прикажите вашим подданным, чтобы с любовью, радостью и миром они показали моим глазам те вещи, что от меня сокрыты. Да будет так. Аминь“. Когда вы это сделаете, появится Анаэль в форме ребенка, и поприветствует вас, и прикажет своим спутникам подчиняться вам».

Тексты о зеркальных магических ритуалах, приписываемые Соломону, очень близки призывам Скота, в которых имеются аналогичные отрывки. Ребенок присутствует всегда, однако у Скота он находится перед отражающей поверхностью, а у Соломона — внутри зеркала, ведь вызываемый Анаэль должен появляться в виде маленького ребенка. Сходство неоспоримо и позволяет нам увидеть в истоке сильно разветвленной каббалистической традиции архетип, который отмечен печатью легендарного царя.

Несомненно, в Средние века были и попытки объяснить естественными причинами феномен этих откровений по зеркалу, обоюдоострому мечу или даже ногтям ребенка: «Согласно философам новые науки не формируются в нашем духе путем обучения или опыта. Они существуют там врожденные, точно погребенные или спрятанные». Платоническая мысль, согласно которой мы знаем все, однако не ведаем, что нам это известно, могла бы стать ключом этих откровений. Знания должны быть открыты внутри нас, как в воде колодца или внутреннем зеркале. И взгляд становится более острым от созерцания блестящих предметов. «Некоторые древние мудрецы думали, что душа наблюдателя отражается сама на себя от блеска наблюдаемого предмета, и только тогда используется ее скрытая сила естественного предвидения. Душа воспримет в себе самой и познает тем больше вещей и тем более ясно, чем более обширным и глубоким будет это действие» [126] (рис. 25.5).

Некоторыми средневековыми авторами зеркала признавались отражением Божественного слова и средством его толкования. Согласно Винсенту из Бове, автору богословского труда «Великое зеркало», «размышлять — означает обладать зерка-



Рис. 25.5
Миниатюра XII в. с изображением Смерти, держащей предсказательное зеркало (из библиотеки Мазарини)



Рис. 25.6
Три возраста женщины и Смерть
(Ганс Бальдунг Грин, 1511 г.,
музей Вены)

любое видение из блеска воды, на которую клал зеркало. (Речь шла о мастере темных оккультных наук, прожившем, как он утверждал, 1020 лет и известном также Роджеру Бэкону. Пико делла Мирандола отождествлял Артезиуса с Аполлоном Тианским.) Гильом учил, что чтение зеркал и ногтей детьми и девственницами достигается при посредничестве дьяволов. И не нужно верить тем лжецам, которые утверждают, что любое откровение может быть получено с помощью зеркала Аполлония, потому что даже сам великий маг не знает будущего, или прошлого, или настоящего, которое должно быть там увидено. Все иллюзии зеркал, по мнению епископа, отмечены Злом (рис. 25.6).

25.3. МАГИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

История зеркальных систем, применяемых для различных целей, берет начало в трудах Герона Александрийского (II в. до н. э.). Он предложил строить составные конструкции из плоских зеркал для тайного наблюдения за врагами, охраны дворцов и создания оптических иллюзий в храмах [76].

Механизм включает в себя опору в форме крыши с двойным скатом и с двумя зеркалами. Одно из них, передвижное, установлено на высоте человека, которому благодаря двойному отражению кажется, будто он летит горизонтально. «Равносторонний треугольник abg (рис. 25.7) разделен на две равные части по основанию bg в точке t . Плоское зеркало zh закреплено на стороне ag , другое плоское зеркало — ed — на стороне ab . Глаза зрителя, голова которого находится в точке t , смотрят на одно из этих двух зеркал. То, в которое он смотрит, остается неподвижным, в то время как другое, находящееся позади, поднимается или опускается, пока отражаемые им лучи не коснутся пяток зрителя (точка k). Тогда тот поверит в то, что он летит». Это текст пятнадцатого утверждения Герона Александрийского, восстановленный

лом, отражающим Божественные законы и позволяющим таким образом познать их. Это также средство наблюдать светила и изучать законы Космоса. Настоящий человек — это зеркало Космоса, в котором отражается невидимое. Практика размышления способствует нашему становлению. Совершенные творения — это зеркала, направленные к Свету, а само зеркало — это отражение внутренней жизни».

Но официальное мнение католической церкви о зеркальных ритуалах было резко отрицательным. Наиболее ясно негативное толкование этой теории изложено Гильомом Овернским, епископом Парижа в 1228–1249 гг. [355]. Он, в частности, писал о маге Артезиусе, который якобы мог вызы-

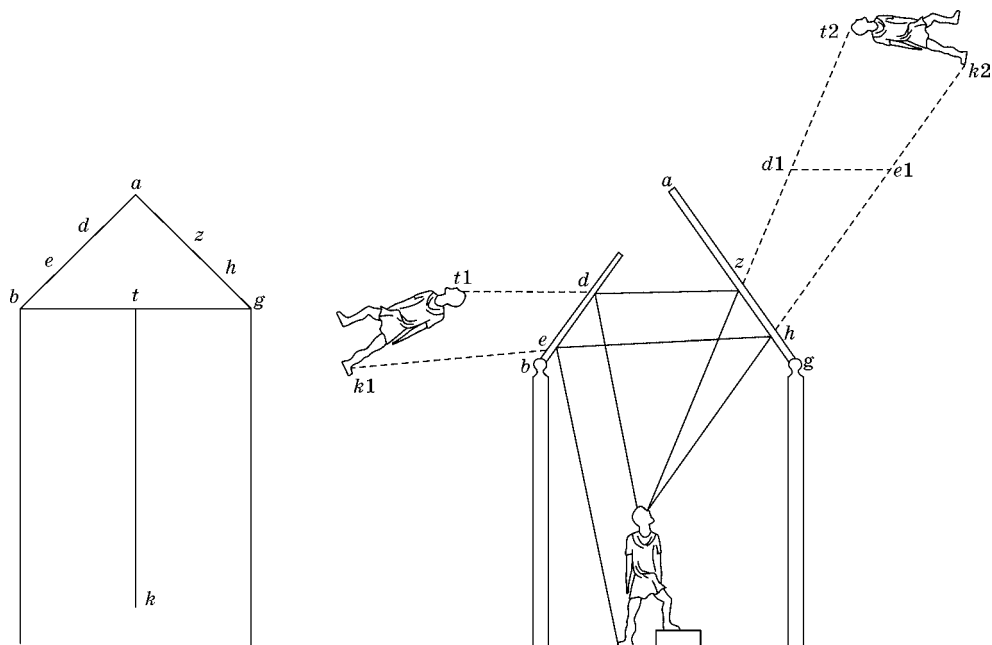


Рис. 25.7

Оптическая система для создания иллюзии полета при перемещении одного из зеркал.

Реконструкция легендарного устройства Герона Александрийского

на основании двух латинских манускриптов XIII и XIV вв., а также венецианского издания 1518 г., которое приписывает его Птолемею.

Кратные отраженные образы, видимые в многогранных кристаллах не только от внешних поверхностей, но под определенными углами и от внутренних (из-за явления полного внутреннего отражения), описывал еще Плиний: «Некоторые кубики изготовлены с внутренней огранкой, состоящей как бы из множества зеркал. Тот, кто смотрит в них, видит себя многократно отраженным в этих зеркалах».

Считается, что один из текстов Иоанна Дамаскина, ученика Плотина, был написан в связи с многозеркальной инсталляцией. В нем говорится о тех королях-магах, «которые уединяются в своем магическом дворце и пропадают на длительный период, чтобы затем однажды обнаружиться в вышине храма в сияющем свете и произнести свои последние слова». Полагают, что автор ссылаясь на систему наклонных зеркал [133].

Арабская «Краткая книга чудес», посвященная традициям древних египтян, описывает, судя по всему, использование составной зеркальной системы: «При обряде, который нельзя разглашать, на стене храма появляется светящаяся форма, которая кажется поначалу очень далекой; она меняется, точно сжимаясь, в лик, несомненно, Божественный и сверхъестественный, наружности, соединяющей строгость с мягкостью, и очень красивый для взора. Следуя указаниям таинственной религии, александрийцы почитали его как Апи или Адоне» [111].

Средневековые маги и чародеи пользовались зеркальными системами для создания «волшебных и необъяснимых» видений. Они утверждали, что магические зеркала, очищенные молитвами, могут притягивать души мертвых. В реальности механизм совсем иной: речь идет о системах зеркал, задуманных так, чтобы не содержать в себе изображения объектов, а отражать их в окружающее пространство.

Вителло в катоптрическом разделе своего трактата описывает устройства этого типа, среди которых есть одно цилиндрическое, заставляющее человека поверить, будто он видит призраков, в то время как это только статуи или дети, спрятанные в другом месте. Вителло пишет, что можно использовать вогнутые зеркала и системы плоских зеркал так, чтобы наблюдатель увидел свое отражение летящим: «С помощью сочетания плоских зеркал можно создать иллюзию, будто видно собственное летящее изображение».

Появления призраков никогда не имели материальных оснований и даже не были вызваны колдовством средневековых каббалистов. В основе всего, как писал Роджер Бэкон, лежит наука *Перспектива*: «Без знания ее законов те вещи, которые нельзя прямо объяснить с помощью физики, считаются деятельностью призраков. Без них (законов) ложное смешивается с истинным. Без их великолепия астрономия и физика были бы как Бог без своего света».

В позднем Средневековье поняли, что призраки Диона, Брута, Помпея, тени Павсания, Пиона, а также Самуила могли быть созданы с помощью зеркальных машин. Именно такого мнения придерживался Фридрих Риснер в своем предисловии к «Сокровищу оптики»; после него уже в XVII в. появляются многочисленные трактаты, разоблачающие эти чудеса.

Компиляция из пятнадцати древних авторов (Герон, Евклид, Архимед, Птолемей и др.) стала известной благодаря латинской версии манускрипта XIII в., приписываемой Герарду Кремонскому [368]. Этот трактат, широко распространенный в Средние века, мог быть знаком Винсенту из Бове, Альберту Великому или даже Роджеру Бэкону. Очевидно, что и Вителло почерпнул сведения для своего утверждения 56 пятой книги «Перспективы» из современного ему манускрипта с переводом труда Герона. Его иллюстрация идентична чертежу на полях экземпляра из библиотеки Ватикана [366], а текст сохранился практически без изменений.

Следует отметить единственное отличие: «образ», установленный вместе со вторым зеркалом в огороженном месте на высоте глаз, которым должна была быть статуя, становится «написанной картиной, формой изображения, написанной в картине».



В книге В. Л. Правдивцева «Эти загадочные зеркала» [62] приводятся любопытные сведения о Роджере Бэконе. Еще в XIII в. Бэкон предсказал изобретение микроскопа и телескопа, автомобиля и самолета, кораблей, приводимых в действие моторами. За два столетия до изобретения пороха он описал его состав и действие. Задолго до того, как это открыла наука, он уже знал о строении биологических клеток и процессе образования эмбриона.

Откуда такие глубокие знания? Говорят, ученому монаху помогло таинственное зеркало. Упомянул о нем и сам Бэкон: «Я увидел в вогнутом зеркале звезду, имеющую форму улитки. Она расположена

между пупом Пегаса, бюстом Андромеды и головой Кассиопеи». Поразительно, но в этом месте Вселенной через четыре столетия обнаружили первую внегалактическую туманность — спиральную туманность Андромеды.

Роджер Бэкон — крупнейший ученый Средневековья — стремился объединить оптику и магию, медицину и этику, математику и мистические озарения. И, естественно, нажил себе массу врагов — и среди ученых, и среди церковников. История сохранила их обвинения. Например, такое: «Он сделал два зеркала в Оксфордском университете: при помощи одного из них он мог в любое время суток зажечь свечу; в другом же можно было видеть, чем занимаются люди в любом месте земли. Экспериментируя с первым зеркалом, студенты потратили больше времени на воспламенение свеч, чем на изучение книг. Поэтому с общего согласия университета оба зеркала были разбиты» [126].

25.4. ИСКАЖАЮЩИЕ ЗЕРКАЛА

История средневековых представлений об ошибках выпуклых зеркал, заключающихся в уменьшении размера отражаемого объекта, начинается с рассказа о тигрице. Утверждение о магическом действии выпуклых сфер (хрустальных или зеркальных) на львов и тигров (рис. 25.8), заимствованное Альхазеном у Евклида, было продолжено в «Перспективах» Вителло и Пеккама. Последний включил его в раздел о свойствах зеркал и способствовал распространению этой легенды на Западе.

Истоки легенды восходят к рассказу Плиния о похищении потомства кошачьих хищников («Естественная история», книга VIII, глава 25): «Охотник в засаде уносит выводок животного на быстрой лошади, впоследствии заменяемой свежими лошадьми. Однако когда мать находит пустое лежбище, она устремляется за похитителем, идя по его следу. Последний, когда рычание приближается, бросает на землю одного из детенышей. Тигрица



Рис. 25.8
Римская охота на тигров в Северной Африке.
В нижней части — сюжет про тигрицу и выпуклое зеркало.
Фреска II в., Вилла Романо, Сицилия (фото авторов)

берет его в пасть и, еще быстрее, потому что она несет с собой свое потомство, возвращается в логово». В «Естественной истории» Плиния еще не фигурирует ни сфера, ни зеркало, но в ее позднеантичных вариациях похититель бросает тигрице не одного из ее котят, а стеклянную или хрустальную сферу, в которой, как кажется кошке, обманутой собственным уменьшенным изображением, она видит своего отпрыска. Так всадник сохраняет у себя весь выводок (рис. 25.9). В раннем Средневековье среди христианских авторов эта история распространилась благодаря пересказу св. Амвросия Медиоланского. В его тексте упоминается округлое металлическое зеркало. Большая часть средневековых бестиариев повторяет версию архиепископа Милана. Гуго Сен-Викторский уточняет, что стеклянную сферу Плиния лучше заменить округлым зеркалом, которое на миниатюрах XII и XIII вв. превращается в сферическое выпуклое (рис. 25.10).



Рис. 25.9

Всадник, обманывающий тигрицу с помощью зеркальной сферы [126]

Пьер ле Рикар в 1210 г. говорит не о сфере, а только о зеркалах: «Они берут зеркала и носят их при себе, когда хотят похитить детенышей тигра» [126].

В некоторых источниках речь идет не об одном зеркале, а о нескольких. Оптический аспект легенды состоит в том, что хотя тигрица видит себя саму, но в силу уменьшения отраженного образа в каждом зеркале думает, что она вернула весь свой выводок и прекращает преследование. Была в этом и соответствующая христианская мораль: люди не должны быть подобными тиграм — каждый должен

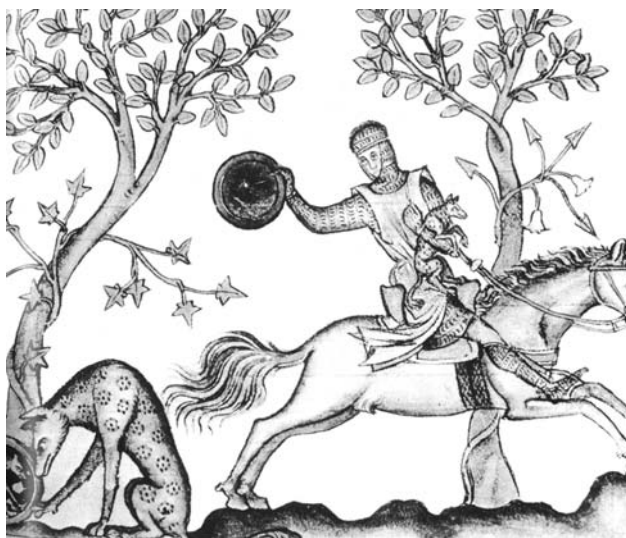


Рис. 25.10

Всадник, обманывающий тигрицу с помощью зеркала (из Бестиария, хранящегося в библиотеке г. Дуа [126])

сохранять своего «детеныша», т. е. душу. Охотник (дьявол) сидит в засаде со своим зеркалом, чтобы похитить у нас душу и обмануть нас. Выпуклые зеркала — это желания и уловки нашего мира. Бросая нам зеркала, охотник оставляет нам иллюзии и овладевает нашим «детенышем».

Повторяя этот рассказ в 1220 г. в трактате «О природе вещей», Бартоломео Англико вводит туда новые детали: «У искусного охотника есть многочисленные зеркала, которые он бросает на своем пути, и когда мать видит их и внутри них себя саму, она верит, что это ее малыши. Поэтому она вертит зеркало и ходит вокруг него. Затем она его разбивает, в то время как охотник, ликуя, уезжает с тигрятами» [132].

Винсент из Бове около 1240 г. рассказывал эту сказку под названием «Обман тигрицы с помощью зеркал», и в его варианте зеркала заменены стеклянными сферами с внутренним отражающим слоем. Брунетто Латини и Альберт Великий придерживаются того же мнения, в чем можно усмотреть отголоски технологических достижений стекольщиков по созданию дурых амальгамированных зеркал [126].

Животное, которому кажется, будто оно видит своего малыша за точенным внутри стеклянной сферы, и которое с ней играет, и в позднем Средневековье было объектом символического толкования.

Люди, зрение и дух которых обмануты какой-нибудь противоестественной уловкой и которым бросают тени, принимаемые ими за объекты, уподобляются тиграм. Так, на гобелене «Дама с единорогом» (рис. 25.11) знатная дама показывает зеркало животному, которое видит в нем себя уменьшенным и кажется замороженным этим превращением. Этот гобелен представляет собой первую композицию аллегорической серии «Пять чувств», символизируя зрение в геральдическом духе.



Рис. 25.11
Дама с единорогом, XV в.
Музей Клуни, Париж



Легенда о тигрице описывает работу отражающего устройства, используемого во все времена. Вспомним выпуклое зеркало на углу длинной улицы или зеркала заднего вида, закрепленные на современных автомобилях, немного выпуклые, чтобы водитель мог видеть дорогу позади себя максимально далеко. Некоторые художники пользовались подобным зеркалом заднего вида, чтобы расписывать протяженные нефы, которые должны были комплексно восприниматься с одного взгляда.

В этих историях оказалась запечатленной зеркальная революция XIII в. Выпуклые зеркала, получаемые разрезанием сферы, нашли широкое распространение в Средние века (см. цв. вкл., ил. 43). Известны их многочисленные изображения на картинах и гобеленах.



Рис. 25.12
 Портрет четы Арнольфини.
 Ван Эйк, 1434 г.
 (из собрания Лондонской
 национальной галереи)



Рис. 25.13
 Святой Элигий.
 Полотно Петруса Крестуса,
 XV в.
 Метрополитан-музей,
 Нью-Йорк.
 В правом нижнем углу —
 выпуклое зеркало

Одно из ранних изображений выпуклого зеркала показано на фреске Джотто «Благодаримие». Выпуклое зеркало, изображенное Яном ван Эйком на «Портрете четы Арнольфини» (рис. 25.12), было предметом многих дискуссий и повторов. Оно показывает всю комнату и фигуры двух свидетелей, одним из которых является художник. «Иоганн де Эйк был здесь», — подтверждает надпись на стене с указанием даты: 1434 г. Сцена воспроизводится со своим более полным отражением, открывающим ее невидимую сторону. Все символы и тени, содержащиеся на полотне, объединены в сокращенном пространстве, *чистом зеркале*, которое само является символом. Обрамленное в венок кругов с эпизодами из жизни и смерти Христа, развертывающимся точно в планисфере, оно представляет собой микрокосм. Два года спустя («Мадонна каноника Ван дер Пале») ван Эйк вводит свою фигуру в отражение на щите святого Георгия, играющем роль выпуклого зеркала, подобного фракийским зеркалам Плиния [143].

Нидерландский портретист Робер Кампен повторил прием изображения выпуклого зеркала на левой створке алтаря (1438) с Иоанном Крестителем и портретом коленопреклоненного донатора Генриха фон Верля.

Выпуклые зеркала встречаются у Мемлинга (1408) и Мастера из Флемаля (1438).

Петрус Крестус поместил такое зеркало в мастерскую святого Элигия (1449) на угол рабочего стола (рис. 25.13), благодаря чему внутри полной вещей комнаты обнаруживается красивая площадь с двумя прохожими.

И сегодня в Венеции можно найти мастерские, в которых по старинной технологии изготавливаются дутые зеркала (см. цв. вкл., ил. 44).

25.5. КАТОПТРИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. ВЕНЕЦИАНСКИЕ ЗЕРКАЛА

В отличие от производства оконного стекла, изготовление зеркал требовало выполнения амальгамирования. Со времен Античности на стекло наносили слой расплавленного металла, чаще всего свинца. Когда римляне выдували на конце стеклодувной трубки пузырь из стекла, они вливали в него

расплавленный свинец, который собирался в выпуклой части. Эту часть потом обрезали. Поэтому размеры зеркал были небольшими, и они получались изогнутыми, давая искаженное изображение. Иногда стеклянный пузырь в горячем состоянии разрезали пополам и после остывания заливали каждую часть расплавленным свинцом. Зачастую искажения даже привлекали внимание любителей оптических эффектов. Операции по изготовлению зеркал вызывали всеобщее восхищение. С особым восторгом современники описывали нанесение на стекло слоя свинца «с великими ухищрениями и с великим тщанием для того, чтобы предметы, оказавшиеся на оном зеркале, могли в нем отражаться».

В начале III в. на Апеннинах появились первые стеклянные зеркала, изготовленные по иной технологии. К куску стекла прикатывали тонкий слой золота, меди, олова или серебра. Защищенный слоем стекла металл не окислялся и не темнел, но оптические неоднородности (свилы) не обеспечивали зеркального качества, а стекло было недостаточно прозрачным. Поэтому интерес к стеклянным изделиям и к зеркалам пропал, и их производство фактически прекратилось.

Второе рождение стеклянных зеркал произошло в Венеции, ставшей в X в. крупнейшим центром торговли между Западной Европой и Востоком (рис. 25.14).



Рис. 25.14
Королева Адриатики.
Миниатюра с изображением Венеции
из книги Марко Поло

Разбогатевшие венецианские купцы строили мраморные дворцы и способствовали развитию различных ремесел. Предметом особой гордости горожан было стекольное производство. Нарядная стеклянная посуда приносила немалый доход, и стекольных мастерских становилось все больше.

Венецианцам принадлежит честь открытия новой области применения стекла — для зеркал. С 1240 г. на островах лагуны стали изготавливать качественные выпуклые зеркала. Мастер выдувал большой шар из стекла и вливал через трубку расплавленное олово: иного способа соединения стекла с металлом тогда еще не изобрели. Когда олово растекалось по внутренней поверхности и остывало, шар разбивали на куски. Отражение в таком зеркале было сильно искаженным.



Как уже говорилось, в Средние века зеркала не жаловали. Зеркала того времени — выпуклой формы с темной поверхностью — вызывали суеверный страх и именовались не иначе как зеркалами колдуний. Каждая приличная ведьма имела в своем арсенале не только большой котел для приготовления снадобий, но и маленькое зеркало. Его полагалось подпитывать светом полной луны, а днем прятать от солнца. Считалось, что с помощью этого магического предмета ведьма может наводить порчу и сглаз, вызывать дьявола и удерживать взаперти демонов и злых духов. Инквизиция смотрела на зеркала с подозрением. Так, в 1321 г. девушку Беатрис де Планиссоль обвинили в ереси и приговорили к пожизненному заключению только за то, что среди ее вещей было найдено зеркало. Сам факт обладания такой вещью мог привести женщину не только в тюрьму, но и на костер [126].

Выпуклые стеклянные зеркала стали необходимым атрибутом медиков. Их использовали для исцеления больных, для исследования выдыхаемых на зеркало «внутренних испарений». Зеркалами лечили туберкулез, водянку, оспу и психические болезни. Поразительно — многие страждущие действительно выздоравливали. Считалось, что металлы теплых оттенков (бронза, латунь, золото, медь) поглощают холодные угнетающие энергии и отражают теплые, солнечные. Металлы холодных оттенков действуют с обратным эффектом. Манипулируя зеркалами из разных материалов, врачи вызывали, выражаясь современным языком, биостимуляцию организма, и больной активнее сопротивлялся болезни.

Зеркала служили для украшения жилища, прикреплялись к парадной одежде и даже использовались в религиозных церемониях. Так, паломники, не имевшие возможности в плотной толпе пробиться поближе к святыням, могли ловить благодатные лучи, исходящие от этих реликвий, с помощью зеркал, прикрепленных к шляпе.

Современную историю плоских зеркал отсчитывают с XIII в., когда их кустарную технологию освоили в Голландии. За ней последовали Фландрия и немецкий город мастеров Нюрнберг, где в 1373 г. возник первый зеркальный цех.

Ртуть применялась для наводки зеркал с середины XV в., причем производственный процесс был таков, что, несмотря на строгие предохранительные меры, избежать отравления было почти невозможно. Ход работы описывался современниками так: «На специальный стол с мраморной доской и боковыми желобами наводчик накладывает оловянный лист, на него нали-

вает немного ртути и втирает ее — получается амальгама. Затем он опять наливает ртуть до высоты 25 мм, накладывает бумажный лист и сверху стекло; из-под стекла вытягивает бумажный лист и накладывает сверху гири — лишняя ртуть стекает в боковые желоба. Затем ставит стол под углом (опять таки для стока ртути), после чего зеркало идет в сушилку» [357].

Примерно в 1500 г. фламандцы изобрели способ смачивать плоское зеркало ртутью и приклеивать к ней оловянную фольгу. Венецианские купцы выторговали патент на этот процесс и полтора века держали монополию на производство высококачественных *венецианских* зеркал, которые справедливее было бы называть *фламандскими*. Плоские зеркала были очень дороги: изделие размером 1,2×0,8 м стоило в 2,5 раза дороже, чем полотно Рафаэля!

Высокая репутация венецианских мастеров притягивала работников с севера Европы. Так, стекольных дел мастер Франсуа дю Тизаль получил от герцога Лотарингского дозволение покинуть пределы герцогства и отправиться в Венецию, чтобы на месте изучить весь процесс производства стекла и зеркал. Хотя венецианский дож и противился найму на работу чужеземцев, лотарингец получил разрешение поселиться в Венеции и построить собственную печь. При этом он должен был делиться секретами своего мастерства с местными работниками. После двух лет обучения дю Тизаль в 1505 г. вернулся в Лотарингию и получил от герцога милостивое дозволение создать стекольную мастерскую около Дарне для производства зеркал из «оного хрусталя». Однако вскоре в Венеции началось массовое производство качественного стекла, и все мастера из соседних стран не смогли составить ей конкуренции [112], [168].

Томазо Гарцони де Баньяковалло в работе «Пьяцца Универсале» предлагает три объяснения превосходства зеркал из Мурано над всеми прочими: соленость морской воды, используемой венецианскими мастерами; красота, свет и мощь огня, проистекавшая из качества древесины, используемой при плавлении стекломассы, а также точные пропорции добавляемых в песок соли и соды [56], [193]. В 1507 г. монополия Венеции на производство зеркал была закреплена официально. Братья Андреа и Доминико Данзало дель Галло получили государственный патент у властей и исключительные привилегии сроком на 25 лет заниматься высоким искусством и совершенствовать мастерство в полном покое и безопасности [192]. Братья первыми предложили разрезать вдоль еще горячий цилиндр и половинки его раскатали на медной столешнице. Получилось листовое зеркальное полотно, отличающееся блеском, хрустальной прозрачностью и чистотой. Изготовленные из пластин высококачественного стекла с накатом тончайшей металлической фольги, зеркала достигали таких размеров, что можно было увидеть себя в полный рост.

Начав свою средневековую историю с воспринятой от Античности магии отражений в серебре и бронзе, пройдя стадию каббалистических мистерий и церковных проклятий, скромные по размерам и еще тусклые зеркала стали бытовым приспособлением и предметом пристального внимания и изучения. Катоптрическая революция, произошедшая в Венеции в XIII в., не только породила большие и прекрасно отражающие зеркала, превратив их в элементы роскоши и показатель имущественного статуса их обладателей, но и способствовала дальнейшему развитию оптической науки в эпоху Ренессанса.

Равно чудны стекла, озирающие солнце
и передающие движения
незамеченных насекомых.

Н. В. Гоголь. Мертвые души

Изобретение очков на рубеже XIII–XIV вв., считающееся счастливой случайностью, стало, вероятно, самым значительным достижением в области прикладной оптики за последние два тысячелетия. Вполне закономерно, что открытие возможности корректировки остроты зрения произошло именно в Италии вскоре после совершенствования технологии варки прозрачного венецианского стекла. Мастера-стеклоделы, пользуясь вековыми традициями ювелирного дела, сначала стали обрабатывать плосковыпуклые линзы для замены этими прообразами лупы хрустальных сегментов, которые были распространены в Европе и на Ближнем Востоке еще в раннем Средневековье и получили название читальных камней. Затем они освоили методику подбора радиусов кривизны обеих поверхностей стекла — и появились *линзы* (лат. *lenticcia* — чечевичное зерно; раньше линзу так и называли — чечевица). В венецианских официальных документах, регулирующих правила стеклоделая, их называли «кружкáми для глаз».

Некоторое время одиночная линза подносилась к глазу и являлась своеобразным моноклем. Позже стали делать две одинаковые выпуклые чечевицы для обоих глаз. Они соединялись оправой и могли компенсировать только старческую дальнозоркость, поскольку имели положительную оптическую силу. Потребовалось более ста лет для того, чтобы начать массовое изготовление положительных и отрицательных линз, используемых и дальнозоркими, и близорукими людьми.

26.1. ГЛАЗ И ЛИНЗА

Линзой называют прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями. Часто встречаются линзы, у которых одна поверхность сферическая, а другая плоская. Однако и плоскую поверхность можно рассматривать как сферическую с бесконечно большим радиусом кривизны. Важнейшим свойством линзы является способность изменять определенным образом направление падающих на нее лучей света.



Долгое время никакой связи между известными со времен Античности зажигательными стеклами и изобретенными глазными линзами не усматривали. Преломления на сферических поверхностях в первом случае вызывали концентрацию лучей и зажигательный эффект (короткофокусные линзы), а во втором случае строилось мнимое изображение (длиннофокусные линзы). Потребовалось немало времени, чтобы осознать, как простое гармоничное сочетание свойств прозрачного материала и его формы может выполнять три функции: создавать оптическое изображение предметов с изменением их масштаба, концентрировать световые лучи и доставлять эстетическое удовольствие. Основопологающим фактором явилось постепенное познание того, что лучи света можно отклонять и преломлять в нужном направлении. Установление законов преломления света оказалось значительно сложнее законов отражения.

Вкратце напомним основные свойства и разновидности очковых линз.

В древности люди уже знали, что свет, проходя из одной прозрачной среды в другую, преломляется. В линзах луч преломляется дважды: один раз — входя в нее, второй раз — выходя из нее. Изменяя кривизну линзы, можно добиться разных эффектов преломления: одни линзы собирают лучи в точку, другие, наоборот, рассеивают их. Линзы, у которых середина толще, чем края, являются *положительными*, или *собирающими*. Точка, в которой параллельные лучи сходятся после преломления в собирающей линзе, называется *фокусом*, а расстояние от центра линзы до фокуса — ее *фокусным расстоянием*. Чем больше кривизна линзы, т. е. чем меньше радиус сферических поверхностей, образующих линзу, тем короче ее фокусное расстояние. Именно такие кусочки хрусталя использовались наряду с вогнутыми зеркалами в качестве зажигательных элементов.

Те линзы, у которых середина тоньше краев, являются *отрицательными*, или *рассеивающими*. Такая линза тоже имеет свой фокус — им называют точку, в которой сходятся продолжения рассеиваемых линзой лучей. Создание рассеивающих линз для средневековых очковых дел мастеров было задачей более сложной, чем собирающих, поскольку приемы обработки вогнутых поверхностей приходилось изобретать практически заново, тогда как шлифовать и полировать выпуклые поверхности, придавая драгоценным камням так называемую форму кабошонов, отлично умели еще античные ювелиры. Именно поэтому отрицательные очковые линзы для коррекции близорукости появились на столетие позже собирающих.



Поскольку любой предмет можно представить как совокупность бесконечного множества точек, линза создает изображение не только любой точки предмета, но и всего предмета в целом. Однако создаваемое линзой изображение не будет точной копией предмета: оно может быть прямым или перевернутым, уменьшенным или увеличенным и, конечно, всегда искаженным за счет так называемых аберраций. Для очковых (длиннофокусных) линз характерно расположение глаза ближе точки фокуса. Поэтому все собирающие очковые линзы увеличивают угловые размеры предметов, а рассеивающие — уменьшают. Перевернутых изображений очковые линзы не строят — с их помощью мы видим *мнимые* изображения.

Как известно, глаз человека представляет собой оптическую систему. Лучи света, попадающие в глаз, преломляются на поверхности роговицы и хрусталика. Хрусталик состоит из прозрачного слоистого тела, похожего на линзу. Особая мышца может изменять форму хрусталика, делая ее то менее, то более выпуклой. Благодаря этому хрусталик то увеличивает, то уменьшает свою кривизну и вместе с ней фокусное расстояние. В целом оптическую систему глаза можно рассматривать как собирающую линзу с переменным фокусным расстоянием, проецирующим изображение на сетчатку. Если предмет находится очень далеко, изображение получается на сетчатке нормального глаза без напряжения мышцы хрусталика. Если предмет приближается, происходит сжатие хрусталика и уменьшение фокусного расстояния настолько, что плоскость изображения снова совмещается с сетчаткой. Таким образом, глаз находится в нормальном (расслабленном) состоянии, когда он смотрит вдаль.

Однако у многих людей глаза создают в ненапряженном состоянии изображение удаленных предметов не на сетчатке, а перед ней. В результате изображение каждой точки предмета проецируется на сетчатку не в виде точки, а в виде кружка, и изображение предмета расплывается. Этот дефект зрения называется *близорукостью*. Человек не может четко видеть удаленные предметы, но зато хорошо видит те, что находятся вблизи. В этом случае собирающие свойства хрусталика оказываются как бы избыточными, и необходима коррекция с помощью рассеивающей (отрицательной) линзы. Лучи света, пройдя через такую линзу, фокусируются хрусталиком точно на сетчатку (рис. 26.1). Поэтому близорукий человек, вооруженный очками, рассматривает удаленные предметы, как и человек с нормальным зрением.

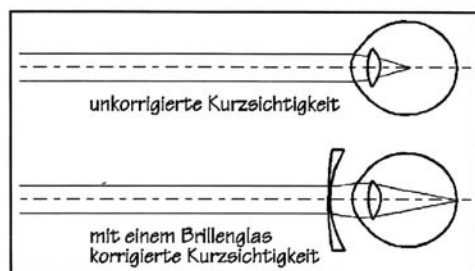


Рис. 26.1

Схема, иллюстрирующая коррекцию зрения в случае близорукости

Иная ситуация складывается, когда изображение удаленных предметов возникает за сетчаткой. Этот дефект называется *дальнозоркостью*. Дальнозоркий человек хорошо видит далекие предметы, но плохо различает предметы, находящиеся вблизи. Для их четкого рассматривания оптической силы глаза не хватает. Таким людям могут помочь только собирающие (положительные) линзы. Самый характерный пример — старческая дальнозоркость, при которой с годами хрусталик ослабевает и становится все труднее читать. Книгу приходится отставлять все дальше, в конце концов способность чтения и письма теряется полностью. Возрастная дальнозоркость, наступающая в зрелом возрасте почти всех, вынуждала наиболее активных членов общества отходить от дел, когда они находились на пике знаний и мастерства, — из-за дальнозоркости они не могли контролировать бухгалтерские книги или выполнять тонкую, «ювелирную» работу. Именно с этим недугом и боролись средневековые мастера, делая длиннофокусные собирающие линзы. По сути, они совершенствовали инструменты, уже много веков использовав-



Рис. 26.2
Фрагмент полотна «Св. Иероним за работой».
Колантонио, XV в.
Музей Каподимонте, Неаполь.
На полке среди инструментов —
рог с увеличивающим зеркалом



Рис. 26.3
Монах-переписчик в скриптории.
Перед ним на столе —
увеличивающее выпуклое зеркало

шиеся для этих целей, — читальные камни из хрусталя, прообразы современной лупы.

Изобретению очков предшествовал длительный период создания первых линз и читальных камней, имеющих свою историю, которая стала раскрываться лишь в последнее время.

Однако перед тем как обратиться к теме архаичных линз и читальных камней, следует заметить, что первым увеличительным инструментом некоторые историки считают вогнутое зеркало [264].

На рисунке 26.2 приведен фрагмент картины художника XV в. Колантонио «Св. Иероним за работой» из музея Каподимонте в Неаполе с изображением такого зеркала, оправленного в рог. По всей видимости, «усиливающий» рог был традиционным атрибутом св. Иеронима: он помещен среди инструментов для письма на фреске XIV в. работы Томмазо да Модены. Увеличивающее вогнутое зеркало более совершенной конструкции, стоящее в скриптории перед монахом-переписчиком, показано на средневековой миниатюре (рис. 26.3).

26.2. ПРЕДЫСТОРИЯ: ПЕРВЫЕ ЛИНЗЫ И ЧИТАЛЬНЫЕ КАМНИ

Очи — врата Солнца.

Пифагор

Свойства линз увеличивать изображения предметов или делать их более четкими были известны уже в древние времена. У истоков их создания лежит опыт обработки драгоценных камней [82].



Глаза многих древнеегипетских скульптур инкрустированы зрачками из горного хрусталя. Это — прообразы первых линз, изготовленные для придания живого блеска глазам скульптур. Их назначение было не столько оптическим, сколько религиозно-декоративным. Первая плосковыпуклая линза была найдена археологами в 1849 г. в руинах дворца Саргана ассирийской столицы Калку в Ниневии и отнесена к IX–VII вв. до н. э. Она имеет овальную форму и дает увеличение в интервале 1,25–2×. Исследовавшие линзу ученые пришли к мнению, что она могла использоваться или как увеличительное стекло, или для концентрации солнечных лучей.



Рис. 26.4
Фреска, изображающая
дальновзоркого
священнослужителя,
Помпеи, I в. н. э.

Множество плосковыпуклых линз было найдено на Крите при раскопках Кносского дворца, а также на Кипре, в Месопотамии, Италии, Африке [76].

В Древней Греции за две тысячи лет до н. э. изготавливались полукруглые кварцевые или стеклянные чечевицы, которые могли увеличивать изображения букв (рис. 26.4). Линзы из стекла появились позже кристаллических линз. Многие из них потеряли прозрачность и с трудом идентифицировались археологами. Одна из линз была найдена в Помпеях, в доме гравера [179]. Известная легенда о монокле из смарагда, которым Нерон якобы пытался компенсировать близорукость, наводит на мысль о существовании в Античности отрицательных кристаллических линз [76], [236].

Крупнейшим достижением древних оказалось изобретение простого способа добывания огня с использованием свойства линз концентрировать солнечные лучи, который нашел отражение в ритуалах открытия в Древней Греции Олимпийских игр с зажиганием священного огня от солнечных лучей у храма Зевса в Олимпии.

Увеличительные свойства горного хрусталя были хорошо известны мусульманским ученым: «...[при наблюдении] через него письмена для взгляда увеличиваются, а строки расширяются», — говорил Бируни [5].

Мастера Ближнего Востока эпохи Средневековья обрабатывали горный хрусталь, добываемый на берегах Красного моря и в Магрибе. В XI в. существовало несколько мастерских по обработке горного хрусталя в Каире и Басре.

Интересные легенды дошли до нас о камнях Сирии [2]. Византийский историк IX в. Фотий, автор богословских сочинений, рассказывал, что «видел камень, через который рассматривал странные фигуры на Луне, принимающие самые разнообразные формы — увеличивающиеся или уменьшающиеся в зависимости от движения Солнца и отражающие само Солнце». Этот текст Фотия не является оригинальным, он был заимствован им из ныне утраченной книги «Жизнь Исидора», написанной греческим философом-неоплатоником Дамаскием.



Еще в древние времена греки и римляне заметили, что стеклянный шар, наполненный водой, увеличивает размеры предметов. Это увеличение объясняли не выпуклой формой шара, а свойством воды. Предприимчивые владельцы харчевен украшали такими шарами свои витрины. Плоды, погруженные в воду, увеличивались шарами в размерах, а блюда казались более привлекательными. Увеличивающий изображения стеклянный шар, наполненный водой, описывал Плиний. Учитель Нерона философ Сенека утверждал, что в древности при рассмотривании использовались стеклянные шары, наполненные водой, через которые мелкое и неясное письмо казалось крупнее и разборчивее. Он заметил, что изображения, полученные при помощи стеклянного шара, сильно искажены: «Через жидкость наше зрение не в состоянии установить истинное место предмета, ни правильно понять, что, собственно, мы видим». Однако это вызвало у него лишь одно умозаключение: нет ничего обманчивее нашего зрения [81].

На протяжении многих столетий сферам из прозрачных материалов приписывались магические свойства. Эти сферы, изготавливаемые из драгоценных камней, были распространены до изобретения очков в средневековой Европе как читальные шары.

Считается, что *читальные камни* — крупные линзы, помещаемые прямо на страницы манускриптов, — изобрел в IX в. Аббас ибн Фирнас, ученый из Кордовы. Есть также сведения о том, что он нашел способ изготавливать стекло высокой прозрачности. Примерно к 1000 г. читальные камни, известные как простейшие увеличительные приспособления, уже были широко распространены (рис. 26.5). Они представляли собой сегменты хрустальной сферы, которые размещались на текстовом материале для увеличения изображения букв. Если распилить круглый прозрачный шар, изготовленный из кварца, берилла или стекла, пополам, то получатся два читальных камня [311].

В Китае в Средние века также существовал спрос на увеличительные стекла. Например, в эпоху Сун (X–XIII вв.) чиновники судебных приказов использовали различные увеличительные линзы из горного хрусталя для расшифровки неразборчивых документов, важных с юридической точки зрения. Кроме того, археологи обнаружили кости, по которым осуществлялись предсказания, и священные раковины с изображениями, различимыми лишь при пятикратном увеличении.

Альхазен, по-видимому, первым изложил законы рефракции и их влияние на изменение яркости и размеры изображений и указал на возможность использования отшлифованной оптической линзы для улучшения условий зрения.

Альхазен описал оптическое действие получаемых шаровых сегментов как увеличительного инструмента.

Практическим изготовлением читальных камней Альхазен не занимался, но в его честь долгое время их называли сегментами Альхазена, поскольку



Рис. 26.5
Изображения
читальных камней
на страницах средневековой
музыкальной партитуры

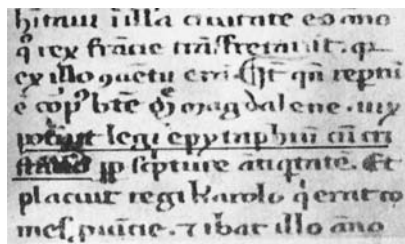


Рис. 26.6

Подчеркнутый фрагмент рукописи
1283 г. из хроники Салимбене:

«Он мог читать документы,
испорченные временем,
с помощью линзы»

уже в начале XIII в. его трактат был переведен на латынь, после чего стал популярен в монастырских школах.

Монахи способствовали широкому распространению читальных камней, которые изготавливали из горного хрусталя или кварца. На старинных изображениях читающих монахов иногда можно увидеть читальные камни, являющиеся словно приложением к книге. В хронике, написанной Салимбене Пармским, упоминается монах, читающий испорченные временем документы с помощью линзы (рис. 26.6).

Улучшенный вариант читальных камней применяется и сегодня в виде лупы — сильной положительной линзы.

Методом проб и ошибок монахи установили, что чем больше радиус читальных камней, тем меньшее они дают увеличение по сравнению с меньшими камнями. Причем плоская часть камня не обязательно должна быть серединой сферы. Читальные камни обладали положительной оптической силой: они сдвигали фокальную точку из положения за сетчаткой глаза на собственно сетчатку. Это позволяло монахам, страдающим старческой дальнозоркостью, читать и, возможно, было первым приспособлением для помощи слабовидящим.

В XIII в. в Европе появились первые серьезные исследования по оптике, среди которых выделяются работы Роджера Бэкона: «Через видение мы изучаем земные вещи, в то время как слепцы для понимания устройства мира не имеют таких возможностей и знают о вещах лишь по наименованию». Исследуя преломление лучей при прохождении через сферические поверхности, Бэкон открыл, что зрительный угол предметов, а следовательно, и его кажущиеся размеры могут быть увеличены. Он советовал людям со слабым зрением накладывать шаровой отрезок стекла меньше полушара на предмет, который они хотят рассмотреть. Кроме того, Бэкон дал математическое доказательство наличия сферической аберрации у вогнутого сферического зеркала. В 1262 г. он писал, что через специально обработанное стекло можно при слабом зрении значительно яснее видеть мелкий шрифт. Остается неясным, относится это высказывание к читальным камням или к линзам, располагаемым перед глазом.

Самым популярным сырьем для кристаллических читальных камней была кварцевая галька, отшлифованная природой. Ее резали струной из тонкой железной проволоки с покрытием из алмазной пыли, полировали и получали идеальные линзы. Поцарапать их было труднее, чем стеклянные. Поставляла гальку на рынки Европы Чехия, а после открытия Америки сырье везли кораблями из Бразилии [35].

Венецианские мастера научились изготавливать стекла для читальных камней, а позже создали линзы, которые размещались в оправе перед глазом, вместо того чтобы помещать их на тексте.

Упоминание о читальных камнях на немецком языке, по-видимому, впервые встречается в работах поэта Альбрехта фон Шарфенберга. В произведе-

дении «Юный Титурель» он сообщает, что если образцу из берилла придать шлифовкой определенную форму, то маленькие буквы будут выглядеть крупнее, так как берилл увеличивает размер шрифта [237], [238]. Автор сравнивает сердце влюбленного с увеличительным стеклом. Примерно в то же время поэт Конрад фон Вюрцбург посвятил читальному камню несколько слов в «Золотой кузне». Таким образом, уже около 1270 г. в Германии было известно вспомогательное средство для улучшения зрения. Причем на немецком языке первые упоминания о читальных камнях появились не в научных трудах, а в поэтических произведениях [312].



В музее старинного монастыря под Инсбруком находится доска с изображением св. Оттилии, относящаяся к 1485–1490 гг. На странице раскрытой книги в ее руке лежат две линзы, не связанные перемычкой (рис. 26.7). О жизни св. Оттилии (ок. 660–720 гг.) сохранилась легенда: она родилась в Эльзасе слепой, а во время крещения прозрела. Ею был основан монастырь Оттилиенберг юго-западнее Страсбурга [293]. С тех пор она считается покровительницей зрения. Аналогичная легенда была сложена в Италии, с тем отличием, что святую покровительницу зрения звали Люсия (Санта Лючия). Со времен Средневековья ее изображали с читальными камнями (рис. 26.8, 26.9). Ее современное скульптурное изображение в Сиракузах по традиции содержит два читальных камня, размещенных на книге (рис. 26.10). Католический культ св. Люсии, само имя которой прямо образовано от метафизического понимания

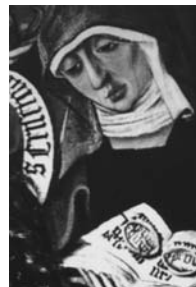


Рис. 26.7
Святая Оттилия —
защитница зрения
с читальными
каменями



Рис. 26.8
Скульптура св. Люсии
(XIV в.),
держашей
два увеличительных
стекла (фото авторов)



Рис. 26.9
Скульптура св. Люсии
(XVI в.),
держашей
читальные камни
(фото авторов)



Рис. 26.10
Современная скульптура
св. Люсии
в Сиракузах
(фото авторов)

света как *священного сияния*, быстро распространился на все европейское Средиземноморье и стал одним из наиболее популярных в Испании и Италии. Соборы в память о св. Люсии воздвигли во всех крупных городах Апеннинского полуострова, и вполне объяснимо, что ее до сих пор глубоко почитают в Венеции — городе стекольщиков и очковых дел мастеров.

Оптические приспособления, о которых шла речь до сих пор, не могут считаться прототипами очковых линз, поскольку соединялись не с глазом наблюдателя, а с рассматриваемым объектом. Новизна появившихся в конце XIII в. «кружков для глаз» (очковых линз) в сравнении с «камнями для чтения» (увеличительными стеклами) состояла в том, что эти небольшие диски со слегка выпуклой поверхностью могли быть надеты непосредственно на глаза.

26.3. ИЗОБРЕТЕНИЕ ОЧКОВ: ДАР БОЖИЙ ИЛИ ДЬЯВОЛЬСКОЕ НАВАЖДЕНИЕ?

История изобретения очков содержит много неясных и противоречивых свидетельств. Одним из предметов спора был вопрос, где были изобретены очки — на Востоке или на Западе. Приведем несколько исторических свидетельств, касающихся использования очков в Китае, где они были изобретены, как считают многие, примерно две тысячи лет тому назад [77].



Известно древнее применение очков в Китае для защиты глаз от воспалительных процессов. Конфуций (ок. 551–479 гг. до н. э.) советовал своему сапожнику носить очки для успокоения глаз после того, как жена бросила тому в лицо горсть перца. Большинство историков науки полагают, что так называемые китайские очки использовались для защиты глаз от пыли и солнца [307]. Их толстые круглые кварцевые стекла цвета чая примерно 50 мм в диаметре были плоскими и не имели оптической силы. Очевидно, именно об этих очках писал Марко Поло, совершивший в XIV в. путешествие в Китай. Другим назначением очков было защищать глаза от злых сил. В прошлом в китайском суде находили применение очки с темными линзами, сделанными из дымного кварца, для маскировки реакции противной стороны на предъявляемые свидетельства. Считалось также, что затемненные стекла должны скрывать глаза судьи, чтобы никто не заметил его личного отношения к оглашаемому приговору.

Сами китайцы утверждали, что очки были изобретены арабами в XI в., хотя документальных свидетельств этому нет. Скорее всего очки с линзами были завезены в Китай только к XV в. европейскими миссионерами или арабскими купцами. Об этом говорят отрывки из книги философа Чао Цэн Ку «Разъяснение загадочных вещей». В одной из летописей упоминается, что правитель соседнего королевства преподнес в дар китайскому императору десять пар очков. Все это делает необоснованным предположение об изобретении очков на Востоке [335] (рис. 26.11).

Но вернемся в Европу. Линзы для корректировки дефектов зрения впервые появились в Италии, центре европейского стеклоделия. Об исправлении старческого ослабления зрения с помощью стекол писал папа римский Иоанн XXI, известный больше под именем Петра Испанского. В 1289 г. некто

из семьи Попозо в своем трактате оставил такую запись: «Я имею столь слабое зрение, объясняемое старостью, что без помощи стекол, называемых очками, не в состоянии ни читать, ни писать. Они были изобретены недавно, к счастью для пожилых людей, чье зрение стало слабым».

Многие историки считают, что первые очки были изготовлены монахами или ювелирами в период 1285–1289 гг. в Венеции или в Пизе. Итальянские мастера XIII в. известны во всем мире как искусные шлифовальщики стекол. Для контроля качества работы они нередко подносили изделия своего труда близко к глазам, что, возможно, и привело к открытию увеличительного действия стекол особого профиля. «Между тем дело шло не о мелочи, а о самом замечательном результате оптики за многие века ее существования не только в практическом смысле, но и в отношении теоретических перспектив. Если бы стал известен истинный изобретатель очков, имя его, несомненно, заняло бы одно из самых почетных мест в истории науки о свете» [10].

Здесь необходимо подчеркнуть принципиальное различие в применении читальных камней и очков [117]. Если читальные камни были интегрированы с наблюдаемым объектом для увеличения его изображения, то очки были интегрированы с глазом для компенсации дефектов зрения. Первые очки позволили компенсировать старческую дальнозоркость. Это различие четко разделяет в истории оптики период развития увеличительных линз и период изобретения и усовершенствования очков.

Сохранившиеся сведения не позволяют однозначно установить имя первого изобретателя очков. Это изобретение связано с началом производства прозрачного (хрустального) стекла, впервые изготовленного на острове Мурано. Венецианские стеклодувы, умевшие изготавливать стекла для читальных камней, позже создали линзы, которые в оправе помещались перед глазами наблюдателя, а не на рассматриваемом тексте. Там же началось и массовое производство очков, имевших поначалу форму перевернутой буквы «V». Оптике Венеции считали изобретателем очков св. Иеронима. На многочисленных живописных картинах и гравюрах он изображен со львом, черепом и парой очков (рис. 26.12, 26.13).

В академическом словаре делла Круска указывается, что изобретение было сделано в 1285 г. Естествоиспытатель Франциск Реди, живший в XVII в., на основании документов, хранившихся в библиотеке доминиканского монастыря Св. Екатерины в Пизе, сообщил о старце Алессандро делла Спина, умершем в 1313 г., который видел первые очки или слышал об их изобретении (рис. 26.14). Он и сам начал изготавливать очки и «с охотой передал их людям», тогда как изобретатель пожелал сохранить их в тайне. Эти данные в отношении как самого изобретателя, так и времени изобретения сходятся со сведениями, сообщаемыми другими хроникерами [115].



Рис. 26.11
Глиняная фигурка
в защитных очках
с прорезями.
Культура Дзэмон, Япония.
III–II тыс. до н. э.
Токийский
художественный музей

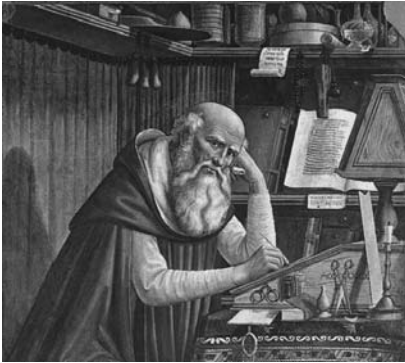


Рис. 26.12
Св. Иероним в келье.
Фрагмент полотна
Доменико Гирландайо, XV в.
На рабочем столе —
штифтовые очки



Рис. 26.13
Св. Иероним в скриптории.
Фрагмент средневековой гравюры.
На рабочем пюпитре — штифтовые очки

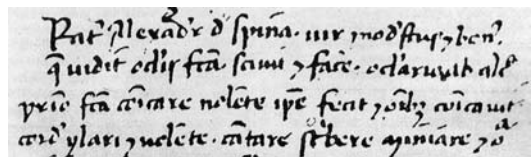


Рис. 26.14
Запись из хроники из монастыря
Св. Екатерины в Пизе за 1313 г.
с сообщением о старце Алессандро делла Спина

Итальянский ученый Карло Дати (1619–1676) сообщил, что он обнаружил отдельную запись в латинской хронике 1313 г. из монастыря в Пизе, относящуюся к изобретению очков. Он привел эти сведения в послании к Академии делла Круска во Флоренции: «Среди прочих записей этой хроники сообщается, что в этом монастыре жил и умер монах нищенствующего ордена Алессандро делла Спина, обладавший замечательным характером и острым умом. И когда некто изготовил очки и отказался передать свое изобретение другим, то Алессандро сам изготовил их и поделился своим знанием с другими». Возможно, что распространением очков мы обязаны именно монаху из Пизы Алессандро делла Спина.

В сочинении 1289 г. упоминается об очках как об изобретении тогдашнего времени. Монах Джордано да Ривалто из того же монастыря Св. Екатерины в Пизе, умерший в 1311 г. в Плаценции, в записях от 23 февраля 1305 г. отмечал: «Не прошло еще и 20 лет со времени возникновения искусства изготовления очков, одного из самых полезных искусств на земле. Мне довелось встречаться и беседовать с человеком, который сделал это первым».

Итак, одна из хроник Пизы, хранящаяся в библиотеке монахов, утверждает, что очки изобрел «некто, не пожелавший открыть своей тайны».

Леопольд дель Миллиоре, издавший в 1648 г. историю Флоренции, и историк Иоанн Винцент Фантони предположили, что этот некто есть Сальвино Арматти. Основанием для такого предположения послужило одно из надгробий церкви Санта-Мария-Маджоре во Флоренции, на котором было указано, что под ним покоится прах изобретателя очков Сальвино Арматти. Надпись на камне свидетельствовала, что изобретатель умер в 1317 г.

В XVIII в. историк из Флоренции Доменико Мани упоминал о местном антикваре, который видел надгробный камень со следующими словами: «Здесь покоится Сальвино д'Арматто Арматти из Флоренции, изобретатель очков. Да простит Бог его прегрешения. 1317». К сожалению, это свидетельство невозможно проверить, поскольку церковь ныне разрушена. Мани полагал, что Арматто и был тем неизвестным изобретателем, с которым довелось общаться Алессандро делла Спина. Это мнение получило широкое распространение в настоящее время [127].

Известный итальянский окулист, ученый и пропагандист профессор Гриньоло Альбертотти (1874–1937) провел серьезную работу по изучению истории изобретения очков. Своими исследованиями он пытался развеять легенды об изобретении очков во Флоренции, приводя этому следующие аргументы. Во-первых, в 1317 г. не было принято писать эпитафии на местном диалекте. Во-вторых, никто не видел упомянутого надгробия Сальвино Арматти. В-третьих, выяснилось, что на 19 июня 1331 г. Сальвино все еще числился ремесленником торговой гильдии. На основании изучения большого числа рукописей и указов Альбертотти пришел к выводу, что первые очки были изготовлены в Венеции [116]. Его точка зрения была подтверждена рядом исследователей [154], [165]. Особо отмечалось, что важную роль в этом сыграл творческий дух монахов-доминиканцев [264].

Последние исследования кардинально не изменили исторического контекста. В любом случае раньше 1285 г. очки появиться не могли. Изобретатель не был известным человеком. Похоже, он был простым мирянином или стекольщиком, который не сообщал о своем секрете по соображениям коммерческой тайны. Самое раннее документальное свидетельство изобретения очков содержится в записи проповеди отца Джордано да Ривалто, датированной 1305 г., который, очевидно, лично знал изобретателя. Возможно, единственного изобретателя и не было. Просто свойство плосковыпуклых стекол было случайно обнаружено стеклодельными мастерами.

Трудности в установлении авторства этого изобретения объясняются просто: несмотря на большое количество теоретических трудов, прикладная оптика развивалась слабо. Это было вызвано отсутствием связи между оптической наукой и практикой [206]. «Действительно бесспорным достижением XIII в., — писал академик С. И. Вавилов, — явилось изобретение очков в Италии и постепенное распространение их. О появлении очков в Италии в конце XIII в. сохранилось несколько вполне ясных свидетельств. Обилие документальных данных показывает, что изобретение привилось и обратило на себя внимание, хотя нет прямых сведений о первом изобретателе очков. Замечательно и вместе с тем печально, что ученые-оптики XIII в., много писавшие о преломляющих средах, по-видимому, не причастны к изобретению очков» [10].

Более того, ученые-оптики, имевшие к тому времени большой объем накопленных знаний по отражающим и преломляющим средам, не только не участвовали в этом изобретении, но даже считали его вредным. Вот как они объясняли свою позицию: «Основная цель зрения — знать правду, линзы для очков дают возможность видеть предметы большими или меньшими, чем они есть в действительности. Через линзы можно увидеть предметы ближе или дальше, иной раз, кроме того, перевернутыми, деформированными и ошибочными. Следовательно, они даже не дают возможности видеть действительность. Поэтому, если вы не хотите быть введенными в заблуждение, не пользуйтесь линзами» [310]. «Недавно изобретенные очки аморальны, — писал в XIII в. некто Гросс, викарий из Сомерсетшира, — поскольку они искажают естественное восприятие и являют предметы в ненатуральном и фальшивом свете». Высоколобые в оптическом обмане не участвуют! [21]. Эта позиция объяснялась незнанием механизма и природы зрения.

В 1284–1330 гг. в Венеции были изданы указы муниципалитета, касающиеся стекольного ремесла, называемого *кристаллери* (рис. 26.15). Первый устав о производстве очков был издан как руководство для работников с хрусталем и стеклом в 1300 г. В нем говорилось об изделиях из белого стекла, причем различались очковые линзы — «кружки для глаз» (*roidi da ogli*) и увеличительные стекла — «камни для чтения» (*lapides ad legendum*).

15 июня 1301 г. Управление юстиции Венеции признало невозможным требовать использования только кварца для подготовки «кружков для глаз». Речь шла о совершенно бесцветной разновидности кварца — горном хрустале, из которого делались «камни для чтения». Мастерам стеклянных изделий было разрешено изготавливать и те и другие также из стекла.

В том же году Венецианский совет издал указ, запрещающий изготовление очков из стекла низкого качества, и с этого времени изготовление стекол для очков разрешалось каждому, кто подчинялся строгим правилам, направленным на сохранение господствующего положения Венеции в этом ремесле.

А уже в 1330 г. впервые официально рассматривался вопрос о технологии изготовления очковых стекол.

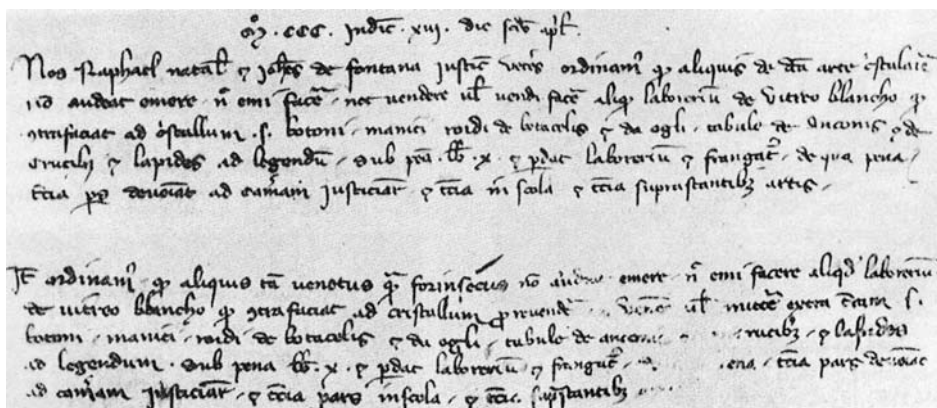


Рис. 26.15

Венецианский капитулярый (1300), свидетельствующий о начале изготовления очковых и увеличительных линз в Венеции [264]

Само слово *очки* (итал. *occhiali*) имеет тосканские корни и происходит от латинского слова *ocularium*, означающего прорезь для глаз в рыцарском шлеме (рис. 26.16). Иногда для защиты глаз от пыли в эту прорезь помещали прозрачные кристаллические пластины, которые не обладали оптической силой. Плоские пластины из кварца, защищавшие глаза при контакте с болезнями чумой, использовались и в маске средневекового врача (рис. 26.17). Изготовителями первых плоских очков, вероятно, были люди, вставлявшие стекла в окна, поскольку древнее слово *conspicillum* обозначало и очки, и место в доме, с которого можно видеть, что происходит на улице. Другой термин — *spicillum* — употреблялся как название медицинского инструмента для рассматривания ран, а в XV в. — для очков [163].

Название *очки* — *ocular, oculare, ocularium* — впервые встречается, по видимому, у итальянца Бартоломео да Сан Конкордио, написавшего историю Екатерины Пизанской. Специальным термином *faber ocularius* обозначали мастеров, которые вставляли статуям стеклянные, хрустальные и алмазные глаза.

В немецком языке очки получили название *Brille*, от слова *Beryll* (берилл — благородный камень, из которого в Средние века шлифовали оптические линзы) [88]. Самые ранние упоминания об очках на немецком языке относятся к концу XIII в. в песнях миннезингеров.

Французская литература конца Средневековья также отметила появление очков [189].

Шарль Орлеанский в балладе о своей старости писал:

Итак, теперь, когда я стал старым
И читаю для развлечения книгу,
Я беру очки для удобства,
Которые увеличивают буквы,
И вижу то, что хочу,
Не чувствуя никакой немощи
В руках моей госпожи Юности.



Рис. 26.16
Рыцарский шлем с прорезью для глаз.
Из собрания Музея Клюни, Париж
(фото авторов)



Рис. 26.17
Средневековая гравюра
с изображением врача
в противочумной маске.
Глаза врача защищали
кварцевые пластины

Франсуа Вийон иронично завещал свои очки мудрецам:

...завещаю пятнадцати мудрецам
 <...>
 Из Парижа, а не из Провена
 Свои большие очки без футляра,
 Чтобы они могли отделить
 Во имя невинных младенцев
 Порядочных людей от бесчестных.

А в «Послании дочерей французского короля придворным» Жана Маро были такие строки:

Тогда увидим без очков и ламп,
 Кто более достоин и кому почет...

Зачастую очки составляли одно целое с головными уборами. По преданию XIV в., шапка с такими очками, принадлежавшая якобы св. Бернарду Сенинскому, хранилась в Павии. В коллекции музея Тауэра в Лондоне хранится рыцарский шлем с очками, подаренный королю Генриху VIII одним из немецких курфюрстов (см. цв. вкл., ил. 47).

Сочетание рыцарского шлема с очками ярко символизирует противоречивость эпохи Средневековья, подготовившей почву для приближающегося периода Возрождения [308].

Первое время очки считались предметом роскоши, поскольку изготовление прозрачных очковых стекол было дорогим удовольствием. Наряду с драгоценностями их включали в свои завещания короли, князья и богатые люди. Правда, большого спроса на очки тогда не было. Мало кто в те времена умел читать и писать, мало было и книг: рукописные молитвенники, хроники, сочинения древних классиков.

Очками пользовались лишь образованные и наиболее состоятельные люди, которые зачастую носили их не в силу необходимости, а из желания показать свое богатство.

26.4. РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИИ ОЧКОВ

Двойной лорнет, скосясь, наводит
 На ложи незнакомых дам...

А. С. Пушкин. Евгений Онегин

Монокулярные очки были изобретены тогда, когда линзу поместили в оправу с рукояткой (рис. 26.18). Одно из первых изображений монокля с ручкой встречается в скульптуре Гиппократ в Мюнстере (рис. 26.19).

Подбор стекол поначалу был весьма примитивен: в оправу вставлялось стекло с большей или меньшей выпуклостью. В то время не могло быть и речи о центре кривизны стекол, о фокусах и фокусных расстояниях. Как правило, линзы были плосковыпуклыми. Когда начали изготавливать двояковыпуклые линзы, это позволило приблизить стекла к глазу, увеличило поле зрения, освободило лицо и послужило дальнейшему развитию устройства.

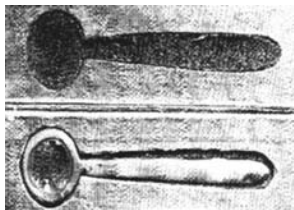


Рис. 26.18
Линза с рукояткой —
прототип монокля



Рис. 26.19
Скульптура Гиппократа
из монастыря
Св. Констанцы
в Мюнстере [308].
Одно из первых в истории
изображений монокля



Рис. 26.20
Клепанные очки.
Германия, 1498 г.



Рис. 26.21
Кардинал Николай из Руана,
читающий
с помощью монокля.
Фрагмент фрески
Томмазо да Модены, 1352 г.
Тревизо, Северная Италия



Рис. 26.22
Кардинал Пьетро из Виченцы
с увеличительным зеркалом.
Фрагмент фрески
Томмазо да Модены, 1352 г.
Тревизо, Северная Италия

Использование в очках сферических выпукло-вогнутых стекол стало плодом усилий лишь последующих поколений мастеров [201].

Расположение очковых стекол непосредственно у глаза позволило перейти к бинокулярным очкам. Две линзы поместили в оправы и соединили друг с другом с помощью заклепки (штифта). Поэтому их называли клепаными очками (рис. 26.20). Оправы такой конструкции изготавливали в монастырях Францисканского ордена, через который по всей Европе распространился опыт изготовления очков.

В первой половине XIV в. очки уже часто упоминались в книгах, их изображения можно встретить на картинах. Первое известное художественное изображение очков встречается в датированных 1352 г. работах итальянского мастера Томмазо да Модены, ученика Джотто. Он исполнил серию фресок с изображением членов Доминиканского ордена в монастыре Сан-Николо в североитальянском городке Тревизо (см. цв. вкл., ил. 48). Тревизо находится в области Венето, недалеко от места рождения муранского стекла. На фресках, в частности, изображены кардиналы Гуго из Сен-Шера и Николай Руанский, усердно читающие или копирующие рукописи [194].

Николай рассматривает текст через увеличительное стекло, помещенное в оправу, но держит его как монокль, непосредственно у глаза (рис. 26.21), а у Гуго стекла расположены на носу в виде клепаных очков (см. цв. вкл., ил. 49). Кардинал Гуго скончался в 1263 г., до изобретения очков. Однако художник изобразил их на фреске как знак почтительности к его возрасту и учености. Важно подчеркнуть эту точку невозврата на временной оси, когда завершилось использование читальных камней и отдельных увеличительных стекол и началось размещение очков на лице. Изображение кардинала Пьетро Иснардо из Виченцы (рис. 26.22) содержит еще один увеличительный элемент — на полке расположено вогнутое зеркало, словно подытоживая весь арсенал оптических средств того времени.

Толщина стекол первых очков могла составлять до трех сантиметров. Они были дорогим удовольствием и принадлежали в основном обеспеченным людям. Для удобства крепления очков на голове предлагались разные решения, которые в конце концов привели к их креплению на носу [238].

Важное усовершенствование относится ко второй половине XIV в., когда появились очки с арочным (дуговым) соединением. Клепаные очки состояли из двух частей, наложенных одна на другую. Теперь же две линзы стали связываться особыми дугами из железа, бронзы, дерева, кожи, рыбных костей и других материалов. Переносица таких очков была немного пружинящей и прижимала ободки к носу. За счет этого они сидели на носу прочнее, чем просто штифтовые [237]. Пятьсот лет спустя этот принцип крепления очков был возрожден в конструкции пенсне.

Одно из первых изображений очков с дуговым соединением мы находим в алтаре в церкви Нидервильдунгена, где изображен евангелист Лука, держащий перед глазами такие очки (рис. 26.23). В центре дуги находится ушко, в которое, возможно, продевалась цепь, удерживающая очки при падении (повреждение стекол означало обычно многомесячное ожидание замены). Скульптурное изображение св. Луки, выполненное в 1473 г., также содержит очки с арочным соединением (рис. 26.24).



Рис. 26.23
Евангелист Лука,
державший очки
с дужкой.
Фрагмент алтаря
церкви
Нидервильдунгена.
К. Зойст, 1404 г.



Рис. 26.24
Евангелист Лука,
державший очки с дужкой.
Скульптура работы И. Сирина,
1473 г. [237]

Doctor Johanssen Reuchlins
der 2. Maler Bergvogel zu Osterreich auch Chur
fürsten und Fürsten gemainen Bunderichters ein
Schwaben warhafftige entschuldigung
gegen und wider zins geauffen loben
getate Pfaffen und weltliche ge
tracht vffgangen unwarhaff
tige schmachbüchlin.

Augenspiegel



Es sind dieses Büchleins fürde man ein correcter richter wolt
er so am dem truch vorsehen sind im ewiglichen vnter latyn. dequid
nec durch die alder doctor.

Рис. 26.25
Очки с дужкой на титульной
странице книги
И. Ройхлинга
«Зеркало глаз», 1511 г.



Рис. 26.26
Модификации очковых оправ (клепанных и дуговых) на протяжении XIV–XV вв.

В 1511 г. вышла книга Иоханнеса Ройхлинга «Зеркало глаз» с изображением на титульной странице очков с арочным соединением. Такая конструкция получила распространение с начала XV в. (рис. 26.25). Различные модификации очков приведены на рисунке 26.26. Как уже говорилось, первые очки могли иметь линзы, изготовленные из кристаллического кварца, поскольку стеклянные линзы еще не получили широкого распространения. Так, доподлинно известно, что и в XV, и даже в начале XVI в. часть очков изготавливали из берилла. Об этом свидетельствует счет герцогов Лоренских от 1502 г. «за десять пар очков, привезенных за несколько раз сеньору королю в указанное место Бар, из которых три пары из хрусталя, а остальные из берилла» [189].

Конструкция очков с дуговым соединением оставалась практически без изменения в течение 250 лет (см. цв. вкл., ил. 51, 52). Линзы помещались в костяную, металлическую или кожаную оправу и располагались на носу пользователя. По документам видно, что уже в конце XIV в. тысячи пар очков экспортировались из одной страны в другую по всей Европе. В XV в. стекольщики из Нюрнберга побывали во время своих странствий в Венеции и привезли оттуда в Германию навыки шлифовки очковых стекол. Использование очков быстро распространилось на Фландрию, Голландию, Испанию и Францию [242].

Поскольку более ста лет умели делать только собирающие линзы, корректирующие старческую дальнюю зоркость, очки на долгие годы стали символом домов для престарелых. На фасадах домов призрения даже изображали эмблему очков (рис. 26.27). Очки для дали появились в начале 1400-х гг. Ардоино да Баэссе из Ферры в письме к Пьеро Козимо Медичи, датированном

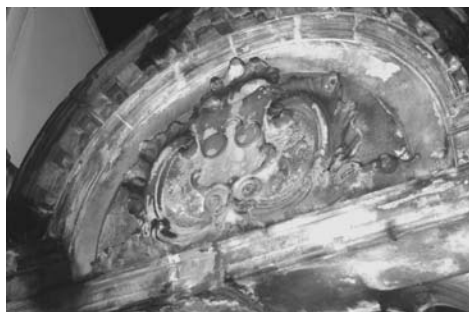


Рис. 26.27
Эмблема очков на фасаде дома призрения в Амстердаме, означающая, что очки тогда изготавливали только для стариков (фото авторов)

25 августа 1451 г., упоминает, что он получил четыре пары очков, причем три из них были для дали. Такие очки обладали отрицательной оптической силой: они сдвигали фокальную точку из положения перед сетчаткой глаза на собственно сетчатку. Это стало возможно за счет использования плосковогнутых линз.

Использование вогнутых линз для близоруких явилось одним из наиболее значительных достижений в изготовлении очков. Папа Лев X, бывший близоруким, носил очки с вогнутыми линзами на охоте и заявлял, что они позволяют ему видеть лучше, чем его компаньоны. Известно, что к концу XV в. в Германии уже изготавливались очки с отрицательными линзами от -2 до -7 диоптрий.

Использование вогнутых линз для близоруких явилось одним из наиболее значительных достижений в изготовлении очков. Папа Лев X, бывший близоруким, носил очки с вогнутыми линзами на охоте и заявлял, что они

Кто носил очки? В первую очередь те, чья профессия требовала хорошего зрения для чтения или письма. Это непосредственно касалось нотариусов, каноников и аптекарей, в описях имущества которых содержались упоминания об очках. Другим очки были необходимы, чтобы предаваться менее достойным занятиям, требующим, однако, большого зрительного напряжения. Так, в описях проданного с аукциона в 1461 г. в Авиньоне имущества фальшивомонетчика Жирандена де Бюда были очки. Описи имущества после смерти королей и других знатных особ также содержат сведения об очках, высокая стоимость которых определялась оправой. Маргарита Австрийская имела очки, «ручка которых украшена серебром, а нижняя часть ручки выполнена в виде небольшого позолоченного льва, чтобы читать». Герцог Бургундский в 1440 г. имел очки в виде золотого хвоста. Более скромные очки украшались костью, деревом или железом, и во всех случаях оправка была тяжелой, что делало неудобным их ношение в футлярах. Заметим, что футляры для очков из серебра с черной эмалью или черного дерева с инкрустацией сами по себе были довольно тяжелы [189].

Флоренция в середине XV в. лидировала в области очковых инноваций, их производства, торговли ими внутри и вне Италии, что подтверждается документально. В частности, опубликованы свидетельства в форме писем от герцогов миланских Франческо и Галеаццо Мария Сфорца, датированных соответственно 1462 и 1466 гг., содержащие первую детальную информацию об очках и истории их изобретения [264]. Флоренция производила большое количество не только выпуклых стекол для дальних зорких, но также и вогнутых (рассеивающих) линз для близоруких. Очковых дел мастера были хорошо

осведомлены о том, что острота зрения постепенно снижается после 30 лет, и конструировали линзы с шагом в пять лет для постепенной смены положительных очков и с шагом в два года — для отрицательных.

Например, герцоги миланские заказывали престижные флорентийские очки сотнями, чтобы перепродавать их в другие страны или дарить важным особам. Их письма являются исторически первыми свидетельствами на этот счет.

Очки в этот период были недороги и доступны. Обычные очки стоили около 2–3 сольди (шиллингов). Цены на очки среднего качества были от 6 до 18 сольди. Наилучшие экземпляры с качественными кристаллами или стеклами в золотой или серебряной оправе ценились в 1 дукат (82 сольди). Кто мог себе позволить их купить? Для сравнения укажем, что хороший каменщик во Флоренции XV в. получал 17 сольди в день, так что вполне мог себе заказать и не одну пару очков среднего качества. Не было накладным улучшить свое зрение и представителям духовенства, зажиточным гражданам и интеллектуалам, но очки были распространены и среди ремесленников. Почти все, кому было за 40, должны были обращаться к их помощи, при этом нужда в увеличительных стеклах не пропадала. Часовщики того времени активно использовали лупы и вогнутые зеркала.

Первые очки с дужками изготовили испанские мастера только в XVII в. Они прикрепили один конец шелковой ленты к оправе, а другой в форме петли надевали на уши.

Испанские и итальянские миссионеры принесли с собой новую конструкцию очков в Китай. Китайские умельцы прикрепили к оправе металлические дужки, вместо того чтобы использовать петли (рис. 26.28).

Потребность в очках резко возросла после изобретения книгопечатания, начала производства бумаги и возникновения университетов. Иногда очки входили в комплект книжного издания (рис. 26.29). Общая эволюция очков от одной линзы моногля через механическое соединение двух моноглей и клепаную оправу до более современной дуговой оправы представлена на рисунке 26.30.



Рис. 26.28
Китайские очки
с металлическими дужками



Рис. 26.29
Книга с очками,
размещенными в обложке,
1719 г. Амстердам.
Из собрания музея
Эрнста Аббе в Йене

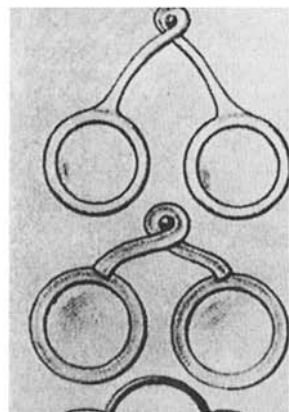
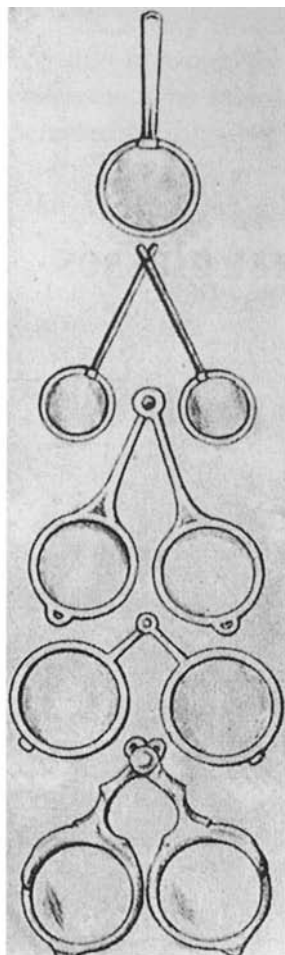


Рис. 26.30
Эволюция
очков

Распространение очков в XIV–XV вв. способствовало возникновению оптических мастерских (рис. 26.31, 26.32), но не оказало заметного влияния на оптику, развивавшуюся как чистая наука. Для защиты очков были изобретены поясные футляры (рис. 26.33). Сами очки продавались даже на рынках (рис. 26.34) или распространялись бродячими торговцами.

Старейшие сохранившиеся до сегодняшнего дня очки, найденные в 1953 г. под половой доской на хорах женского монастыря в Северной Германии, представляют собой сломанную клепаную пару первой половины XV в. Две аналогичные пары, также



Рис. 26.31
Оптическая мастерская. Старинная гравюра



Рис. 26.32
Гравюры «Книжник» и «Мастерская очков»,
1494 г. [308]



Рис. 26.33
Св. Бернардин
из Сиены [190].
На поясе —
футляр для очков



Рис. 26.34
Торговцы очками.
Гравюра на меди Клеменса фон Галена, 1580 г.

датируемые XV в., были найдены в германском Фрайбурге и в Лондоне. В Нидерландах в 1986 г. нашли почти целую пару очков конца XV в. в раскопе в Виндесхайме, а другую — в 2001 г. в Берген-оп-Зоме.

Изобретение очков по праву считается самым крупным достижением в прикладной оптике, выходящим по своему масштабу за рамки Средневековья. Человечество воздает должное величию этого изобретения. Во многих странах мира созданы музеи очков: в Германии, в Мюнхене и Оберкохене (оптический музей фирмы «Цейсс»); во Франции, в Морезе; в Нидерландах; в Японии на острове Хонсю; в Италии, в Пьеве-ди-Кадоре. Музей в Пьеве-ди-Кадоре (см. цв. вкл., ил. 53), неподалеку от Венеции, располагает богатой экспозицией по истории изобретения очков и содержит ценную информацию о начале их промышленного производства в Италии.

26.5. ОЧКИ В ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОМ ИСКУССТВЕ

В позднем Средневековье очки являлись символами учености и праведности. Художники изображали людей, которым были присущи эти качества, в очках, даже когда они жили задолго до их изобретения [294]. Примером может служить изображение евангелиста Луки, держащего очки с дуговым соединением (см. рис. 26.24). Средневековая гильдия св. Луки объединяла мастеров-ремесленников стекольного и очкового дела с живописцами и витражистами.

Изображения очков появлялись на гербах (рис. 26.35), эмблемах ремесленных гильдий, что свидетельствует о глубоком уважении, которое к ним проявлялось [286].

Но такое отношение к очкам было далеко не всегда. Первоначально их ношение не только не приветствовалось, но и прямо осуждалось церковью. Считалось, что человек не вправе «подправлять» свою божественную природу



Рис. 26.35
Изображение очков
на гербе из известняка.
Из собрания музея
Салмона в Л'Акуиле,
Италия [264]



Рис. 26.36
Сатирическое
изображение
коровы в очках.
Роспись на фасаде дома
по улице Бэкер, Вена,
XVI в.



Рис. 26.37
Клепаные очки.
Первая гравюра
на дереве
из Нюрнбергских
хроник, 1493 г.



Рис. 26.38
Св. Петр и Св. Павел
работы Карло Кривели (1430–1493).
Св. Петр изображен
со штифтовыми очками.
Из собрания Художественной
академии Флоренции [264]



Рис. 26.39
Царь Ирод, живший
с 73–74 по 4 г. до н. э.,
никогда не носил очков,
однако на гравюрах
XV и XVI вв.
он изображен с очками [264]

и делать зрение острее, чем оно нам даровано свыше. Именно с этим связаны первые почти всегда карикатурные или негативные изображения очков. Их носителями показывались в основном сумасшедшие, алхимики или даже животные (рис. 26.36). Только позже, по мере распространения этого, несомненно, полезного и важного изобретения, в очках начинают изображать купцов (рис. 26.37), монахов, апостолов (рис. 26.38) и царей (рис. 26.39). Тогда же очки становятся символом мудрости и начитанности.

Первые изображения очков встречаются в росписях и скульптурах церквей Средневековья и в иллюстрированных хрониках. В Тревизо и Падуе до сих пор сохранилось несколько скульптур XIV и XV вв. с изображением очков. Это лишний раз свидетельствует, что именно Северная Италия могла

быть тем центром, где произошло изобретение и началось изготовление очков. Художественная традиция не позволила сразу перейти к изображению очков, и еще почти столетие в церковной живописи одновременно можно наблюдать как очки, так и увеличительные стекла в виде отдельных линз. Примером изображения увеличительной линзы может служить фигура с увеличительным стеклом, читающая книгу, написанная для алтаря церкви Св. Якова в Гёттингене в 1402 г. (рис. 26.40).

Самое знаменитое раннее изображение двух католических церковных иерархов в очках и с лупой — это уже упоминавшиеся фрески Зала капитула в монастыре Сан-Николо города Тревизо. Обычно их приводят как отдельные изображения, но совсем другое впечатление они производят, когда рассматриваются в общей панораме этого зала, среди десятков соседних образов римских пап, епископов, кардиналов и церковных авторитетов (см. цв. вкл., ил. 48). Изображение двух кардиналов с оптическими приспособлениями в длинном ряду святителей подчеркивает желание автора фресок Томмазо да Модены подчеркнуть их начитанность, книжную эрудицию и авторитет знатоков Священного Писания.

Клепанные очки можно видеть в церкви Св. Якова в Ротенбурге среди изображений главного алтаря работы Фридриха Герлина (1466). Один из эпизодов изображает читающего апостола Петра, держащего клепанные очки перед глазами (см. цв. вкл., ил. 50). В том же алтаре, на картине «Обрезание Христа», изображен еще один священник с клепаными очками (рис. 26.41). Видно, что крепление очков не является удобным. Аналогичная конструкция очков, точно переданная художником, показана на рисунке 26.42. Неизвестный австрийский мастер изобразил одного из апостолов с простейшими клепаными очками в сцене, связанной с кончиной Девы Марии (апостол



Рис. 26.40
Фрагмент алтаря в церкви
Св. Якова в Гёттингене (1402).
В сцене «Иисус в храме»
показана фигура
с увеличительным стеклом,
читающая книгу



Рис. 26.41
Священник с клепаными очками
на картине Ф. Герлина
«Обрезание Христа».
Предел алтаря церкви Св. Якова
в Ротенбурге, 1466 г.

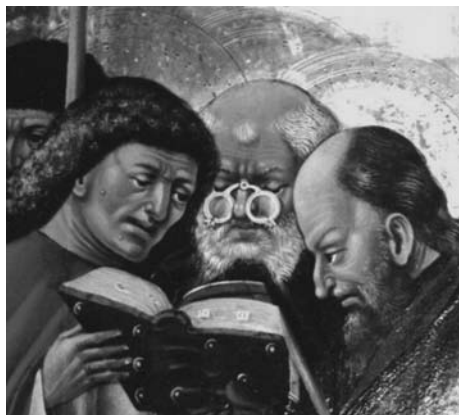


Рис. 26.42
Одно из старейших изображений
клепанных очков
в монастыре Св. Августина
в Клостернойбурге, 1439 г.

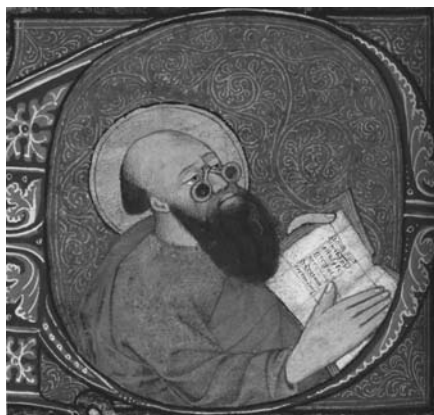


Рис. 26.43
Портрет святого в очках,
иллюстрация из Библии,
Париж, XIV в.
Национальная библиотека



Рис. 26.44
Росписи верхнего чина церкви
Св. Вольфганга в Зальцбурге,
выполненные австрийским
художником Михаэлем Пахером
(1471–1481), с изображением
апостолов с клепаными очками



Рис. 26.45
Изображение апостола
в очках с дужкой
на обратной стороне алтаря
церкви Св. Вольфганга
в Зальцбурге

склонился над ее телом в молитве, читая книгу). В таких же очках изображен святой на иллюстрации к Библии XIV в. (рис. 26.43).

Отметим росписи верхнего чина церкви Св. Вольфганга в Зальцбурге, выполненные австрийским художником Михаэлем Пахером с 1471 по 1481 г. В сцене смерти Марии один из апостолов, изображенный в клепанных очках, склонился над умирающей со слезами на глазах (рис. 26.44).

Менее известно малозаметное изображение очков с дуговым соединением, которое находится на обратной стороне алтаря. Один апостол держит очки в руках перед глазами, читая книгу через плечо другого апостола (рис. 26.45).

Ряд средневековых хроник содержит миниатюры, отражающие ранние модели очков (рис. 26.46) [294].

Излюбленной темой для художников Средневековья было изображение святых и деятелей церкви с очками. Портрет монахини в очках воспроизведен на рисунке 26.47. На рисунке 26.48 показан св. Лука, пишущий Мадонну с младенцем, на рисунке 26.49 — изображение епископа в часовне Падуи, на рисунке 26.50 — скульптурная сцена «Введения во храм» из церкви Джованни и Паоло в Венеции.



Рис. 26.46
Фрагмент рукописи конца XIV в. из каталога Гилсона, библиотека Безансона (Франция), с изображением ранних моделей очков



Рис. 26.47
Монахиня в очках, 1493 г.



Рис. 26.48
Св. Лука, пишущий Мадонну с младенцем. Фрагмент картины Мартина ван Якобса, 1532 г. Из собрания Музея Франса Халса, Амстердам



Рис. 26.49
Изображение епископа. Часовня в Падуе



Рис. 26.50
Скульптурная сцена «Введения во храм». Церковь Джованни и Паоло, Венеция

Фламандский живописец Ян ван Эйк, автор более ста композиций на религиозные сюжеты, один из первых художников, освоивших технику живописи масляными красками, охотно обращался к портретам с изображением очков. Примером может служить его «Мадонна каноника ван дер Пале» (1436) из музея Гронинге в Брюгге (рис. 26.51). Существует предположение, что в работе он использовал изогнутые зеркала и маленькие линзы. Этим он достигал совершенства в изображении перспективы на своих картинах.



Рис. 26.51
Фрагмент картины Ван Эйка
«Мадонна каноника
ван дер Пале».
Муниципальная
художественная галерея,
Брюгге, 1436 г.

В произведениях изобразительного искусства нашла отражение и тема повсеместного распространения очков (см. рис. 26.32).

Сюжеты с очками часто использовались в качестве иллюстраций к рукописям, как, например, в немецкой Библии середины XV в. (рис. 26.52). Мариус ван Роймерсвала, представитель нидерландской школы живописи, изобразил простейшие очки с дуговым соединением на картине «Сборщики податей» (ок. 1490 г.). Непреходящей оставалась традиция оснащать очками святых и деятелей церкви (рис. 26.53–26.57).

В художественных музеях и картинных галереях мира экспонируется труднообозримое количество произведений изобразительного искусства, отражающих различную информацию об очках. Это очень интересная и богатая фактами тема, ожидающая своих исследователей.



Рис. 26.52
Марк, пишущий Евангелие.
Фрагмент немецкой Библии
(1441–1449).
Из собрания университетской
библиотеки Хейдельберга,
Германия



Рис. 26.53
Св. Августин,
читающий книгу.
Конрад Вайдер
(1485–1490),
церковь Бозена,
Италия



Рис. 26.54
Живописное панно немецкого художника Бернхарда Штригеля (1505–1506 гг.) из алтаря церкви Св. Анны в Миделхейме с изображением святого в клепаных очках



Рис. 26.55
Успение Богородицы.
Ганс Гольбейн (старший), 1501 г.
Темпера на дереве.
Музей искусств в Базеле,
Швейцария



Рис. 26.56
Фрагмент картины Яна Провоста «Мария во славе», 1524 г. Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург



Рис. 26.57
Эль Греко. Портрет кардинала Нино де Гувара, 1600 г. Метрополитен-музей, Нью-Йорк. Очки на лице кардинала крепятся с помощью шнурков, перекинутых за уши

НА ПОРОГЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОПТИКИ

Кто не видел невидимое,
тот не может совершить невозможное.

Древнее изречение

Создание и развитие оптических инструментов — достижение Средневековья, сопоставимое по значимости с изобретением очков. Эксперименты, проведенные Альхазеном с камерой-обскурой, принципиально изменили представления о природе света и зрения, а также позволили получить первые нерукотворные изображения объектов. Успехи средневековой гномоники способствовали развитию методов обратного (теневого) визирования, а совокупность созданных инструментов прямого визирования — астролябий, квадрантов, диоптров и других визирных приборов — оказала определяющее влияние на развитие астрономии и геодезии.

В период раннего Средневековья ученые Ближнего Востока и Средней Азии, восприняв достижения древнегреческих астрономов, усовершенствовали их инструменты и разработали свои оригинальные конструкции. Известны труды о солнечных часах и гномонах, написанные аль-Хорезми, аль-Фаргани, аль-Ходженди, Бируни; сотнями исчисляются трактаты о применении и конструкции астролябий. Существенный вклад в развитие астрономических инструментов внесли астрономы Марагинской и Самаркандской обсерваторий. Сохранив принципы греческой астрономии, арабские ученые развили технику наблюдений и повысили точность вычисления планетных таблиц.

В XII в. труды по инструментальной астрономии в переводе с арабского на латынь стали доступны выходящему из застоя христианскому миру. Через Испанию и Южную Италию они стали известны в Северной Италии, Германии, Англии и Франции. В Европе возродилась техника астрономических наблюдений. Уже в XIV–XV вв. европейские астрономы использовали описанные учеными Востока конструкции и собственные наблюдательные приспособления. В Средние века были изобретены модификации армиллярных сфер, астролябий, квадрантов, секстантов, визирных линеек и других инструментов. Важнейшей задачей, которую ставили перед собой средневековые астрономы, было уточнение основных характеристик планетарных движений:

наклона эклиптики к экватору, скорости прецессии, продолжительности года и месяца и других параметров системы Птолемея. Результатом стало установление точной для своего времени системы астрономических постоянных.

Мусульманский мир отличался от других цивилизаций отношением к точному измерению времени и астрономических явлений. Так, астролябия, в частности, служила для определения времени молитвы. Арабы усовершенствовали принцип ориентирования в пустыне и определения направления на Мекку. Задняя панель астролябии нередко содержала таблицы и графики для выполнения тригонометрических или календарных расчетов.

На протяжении X–XI вв. основным центром по разработке астролябий и их применению в астрономии была мусульманская Испания. Затем эту эстафету в XII и XIII вв. приняло Марокко, в частности Маракеш и Фес. В XI в. в Толедо появились первые универсальные астролябии, тимпан которых не зависел от географической широты.

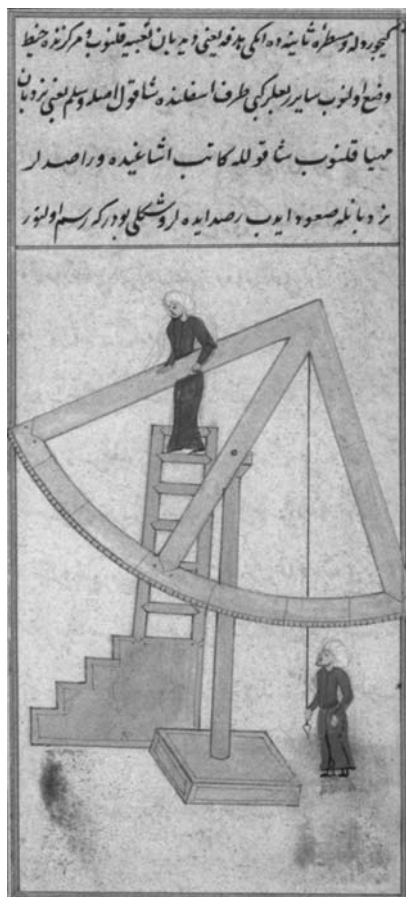


Рис. 27.1
Мусульманские астрономы,
проводящие измерения
с помощью большого
азимутального квадранта [268]

Мусульмане создали азимутальный квадрант, изобретение которого приписывается Авиценне, а усовершенствования — ат-Туси (рис. 27.1). Этот инструмент считается прообразом теодолита — прибора для определения угловых высот и азимутов звезд, появившегося в XVI в. Ими же были сконструированы азимутальные армиллярные сферы (рис. 27.2) и небесные глобусы для воспроизведения

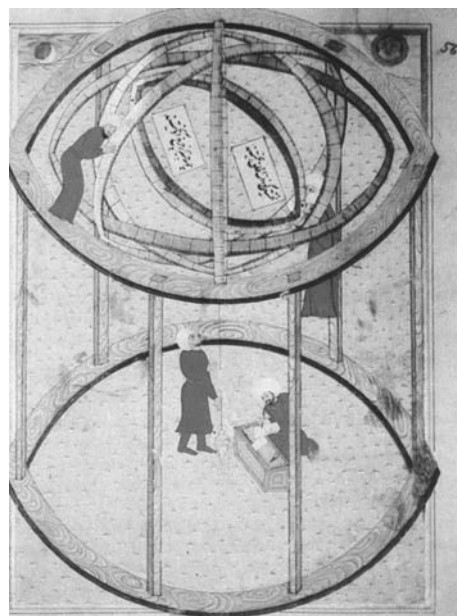


Рис. 27.2
Мусульманские астрономы,
работающие с большой азимутальной
армиллярной сферой [268]

планетарных движений. Своего расцвета искусство создания визирных инструментов достигло в период проведения исследований в Марагинской обсерватории.

Почти все крупные астрономы VIII–XV вв. были и авторами трудов, посвященных визирным инструментам, применявшимся в астрономии и геодезии, с описанием конструкций и обзорами приспособлений. Они предназначались как для стационарных наблюдений в обсерваториях, так и для измерений и наблюдений в полевых условиях [15].

В настоящем разделе будут рассмотрены камера-обскура, гномоны Средневековья и визирные инструменты.

27.1. КАМЕРА-ОБСКУРА

Природа окружает человека мраком
и понуждает его вечно стремиться к свету.

И. В. Гёте

Изобретателем камеры-обскуры долгое время ошибочно считали итальянского ученого-энциклопедиста, педагога и драматурга Джованни делла Порту, описавшего (1560) сам прибор и способ повышения яркости изображения при размещении в отверстии собирающей линзы [168]. Порто использовал его при разработке теории зрения, а также для выполнения рисунков и их проецирования (идея проекционного фонаря).

По-видимому, впервые название *камера-обскура* (в переводе с латыни — «темная комната») появилось только в XVII в. в трудах известного немецкого астронома Иоганна Кеплера.

На самом деле камера-обскура известна со времен древнейших цивилизаций.

Одно из первых упоминаний о ней относится к V в. до н. э. и связано с именем китайского философа Мо-цзы, называвшего темную комнату «собирающим местом» или «закрытой комнатой сокровищ». Изучая прямолинейность распространения света, он использовал камеру-обскуру и получал с ее помощью перевернутые изображения [74]. О камере-обскуре упоминал Аристотель, наблюдавший во время частичного затмения лунообразное изображение солнца, образовавшееся в тени под деревьями. В этом случае отверстиями, через которые проникал свет, являлись малые просветы между накладывающимися друг на друга листьями. Строгое объяснение этому явлению было дано лишь в XVI в.

Камера-обскура упоминалась и в трактате Плиния Старшего.

Устройство камеры-обскуры представляет поразительную аналогию с анатомическим строением глаза. Невольно закрадывается предположение, что знание анатомии глаза навело на идею ее создания. В долинзовую эпоху это был просто темный ящик с небольшим отверстием в одной из стенок. Если обратить это отверстие к освещенным (светящимся) объектам, то на противоположной стенке внутри ящика получится цветное перевернутое изображение этих объектов, передающее мельчайшие детали. Чем меньше отверстие, тем отчетливее предстают очертания предметов, но меньше яркость изображения [19], [20], [209].



Возникновение нерукотворного изображения предметов окружающего мира на протяжении многих веков вызывало неподдельный интерес и удивление у наблюдателей и ученых. Поначалу ему придавали сакральное, мистическое значение. Так, например, Болеслав Прус на основе тщательного изучения древнеегипетских документов описал в романе «Фараон», как жрецы в темной палатке показывали своему владыке сцены битвы с врагами, происходящей на освещенной равнине: повелитель и не подозревал, что все увиденное им было не божественным знамением, а оптическим явлением [79], [80].

В IX в. китайские философы (Туан, Ченг и Ши) упоминали об изображении пагод, спроецированных на стену жилища сквозь щели в оконных ставнях.

В X в. Шен Куа дал описание наблюдаемого эффекта. Объектами его изучения были тени от облаков, птиц и воздушных змеев. Он отмечал, что тени от них движутся в том же направлении. Если же наблюдать за ними через маленькое отверстие, «спеленав его, словно ремнем», то их тени движутся в противоположном направлении [281]. Тогда же Ю Чао Ланг использовал модели пагод для наблюдения с помощью камеры-обскуры их изображений. Однако никаких теорий для объяснения полученных изображений не выдвигалось.

Хотя греческие и арабские философы (Теон Александрийский, аль-Кинди, Бируни) неоднократно описывали эффект, связанный с прохождением луча света через отверстие малого диаметра, никто из них не предполагал, что то, что проецировалось на экран, являлось изображением объектов, расположенных с противоположной стороны апертуры [221]. Только в X столетии арабский физик и математик Альхазен впервые использовал темную комнату с малыми отверстиями (камеру-обскуру) в своих экспериментах с источниками света для изучения получаемых с ее помощью изображений. Один из наиболее известных его опытов, описанный в «Сокровище оптики», состоял в изучении прохождения света от свечи в камеру-обскуру для проверки гипотезы о том, что световые лучи и цвета не смешиваются в воздухе или прозрачном теле и перемещаются прямолинейно [223], [323]. Он описал эксперимент следующим образом. Разместим несколько свечей (или ламп) в различных местах, но напротив отверстия в ширме, с противоположной стенкой комнаты в качестве экрана. Оказалось, что изображения формируются только при использовании отверстий малого диаметра и что правая свеча создавала изображение слева на стене, а левая — справа. Если заслонить свет от свечей, то светлое поле исчезнет. Если убрать заслонку, свет вновь появляется в том же месте [46]. Достаточно беглого ознакомления с этим интереснейшим описанием, чтобы убедиться, что Альхазен многократно и тщательно ставил опыты с камерой-обскурой. Из этих наблюдений он сделал вывод о линейности распространения света и роли отверстия в формировании изображения.

Эксперименты с камерой-обскурой заставили Альхазена задуматься о скорости распространения света. Он полагал, что свет материален, и егохождение осуществляется за конечное время, величина которого недоступна нашим органам чувств. Считая, что светоформы объемны, он аргументировал этим, что восприятие света происходит во времени. Поэтому и через камеру-обскуру свет распространяется с конечной скоростью.

Альхазен дополнительно укрепился в этой точке зрения, когда установил, что свет распространяется прямолинейно. Наиболее убедительным экспериментом с камерой-обскурой было изучение изображения солнца в форме полумесяца при солнечном затмении, которое он наблюдал на стене, расположенной напротив маленького отверстия в оконной занавеси. В своем известном трактате «О форме затмения» ученый так прокомментировал эти наблюдения: во время неполного солнечного затмения свет, проходя через маленькое круглое отверстие, формирует на противоположной стенке серповидное изображение. Свет проникает в комнату сквозь отверстие, перенося изображение объекта. Изображение возникает перевернутым и полноцветным на противоположной отверстию стене темной комнаты, свидетельствуя о прямолинейном распространении света. При пересечении лучи не перемешиваются.

Альхазен предпринял попытки объяснить, почему глазом мы видим изображения прямыми, а не перевернутыми, как в камере-обскуре, справедливо предположив связь оптического нерва с мозгом, анализирующим и распознающим образы. Он также установил, что чем меньше отверстие, тем изображение более отчетливо. Фактически это было первым строгим описанием наблюдаемого оптического эффекта.

Открытия, сделанные Альхазеном на основе экспериментов с темной комнатой, показали несостоятельность тысячелетних представлений древних мыслителей о зрительных лучах и дали основания считать его изобретателем камеры-обскуры. К сожалению, при переводе на латынь его фундаментального труда первые три главы, содержащие исследования камеры-обскуры, были пропущены и заново открыты только в начале XX в.

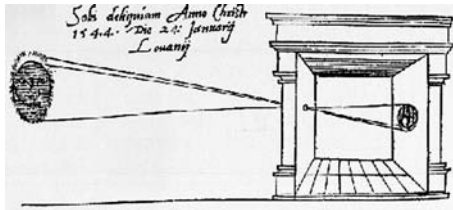


Рис. 27.3
Рисунок камеры-обскуры из книги Гемма Фризиуса, иллюстрирующий наблюдение солнечного затмения в январе 1544 г.

Крупнейшие ученые — последователи Альхазена (Вителло, Роджер Бэкон и др.) также были знакомы с камерой-обскурой.

Иоанн Пеккам высказал идею о ее использовании для наблюдения без ослепления глаз за движением Солнца.

В 1544 г. голландский математик Гемма Фризиус наблюдал указанным способом солнечное затмение, что позволило ему избежать ослепления от яркого света (рис. 27.3).

27.2. СРЕДНЕВЕКОВАЯ ГНОМОНИКА

О двенадцати спицах — ведь оно не изнашивается! — вращается Колесо Закона по небу.

Ригведа

Основы гномоники как части античной оптики, посвященной расчетам движения теней, были заложены вавилонскими, египетскими и древнегреческими учеными [75]. Эти расчеты в основном содержали сведения из элементарной геометрии и теории конических сечений. Средневековые араб-

ские астрономы Сабит ибн Курра и Ибн Юнус оставили существенно превосходящие античные труды трактаты по гномонике, основанием которых служили правила плоской и сферической тригонометрии. Кроме часовых линий, на поверхности арабских гномонов (солнечных часов) наносилось еще направление к Мекке, кыбла. Момент дня, когда конец тени вертикально поставленного штифта находился на линии кыблы, считался особенно важным.

В древности астрономические инструменты часто называли математическими, очевидно имея в виду, что предназначены они для решения астрономических задач, а принципы их действия основаны на законах математики. Одним из наиболее распространенных видов солнечных инструментов на средневековом Востоке были приборы *гномонного типа*, основанные на измерении в определенные моменты времени величины и направления тени, отбрасываемой вертикальным гномоном на шкалу. Она делилась либо на 12 пальцев согласно индийской традиции, либо на 60 частей, как это делали греки. Тень гномона, перемещаясь по плоскости инструмента, описывает кривые, представляющие собой конические сечения, — эллипс, в частном случае круг, гиперболу или параболу, т. е. линии, возникающие при пересечении плоскости гномона наклонным конусом, вершина которого совпадает с вершиной гномона, а основанием является круг видимого движения Солнца на небесной сфере (рис. 27.4).

Гномоны, ведущие свою историю от египетских обелисков и греческих сфаросов, были усовершенствованы арабами и позволяли им методом обратного визирования вести точные наблюдения за движением дневного светила по эклиптике. С введением равных часов дня и ночи, не зависящих от времени года, задача средневековой гномоники значительно упростилась. Вместо того чтобы замечать место конца тени на сложных кривых, стало достаточно замечать направление тени.

Средневековая гномоника занималась составлением правил нахождения различных положений тени на плоскости инструмента. Солнечные часы дают не среднее, а истинное солнечное время. Одной из специальных задач гномоники было построение кривой на циферблате солнечных часов, которая

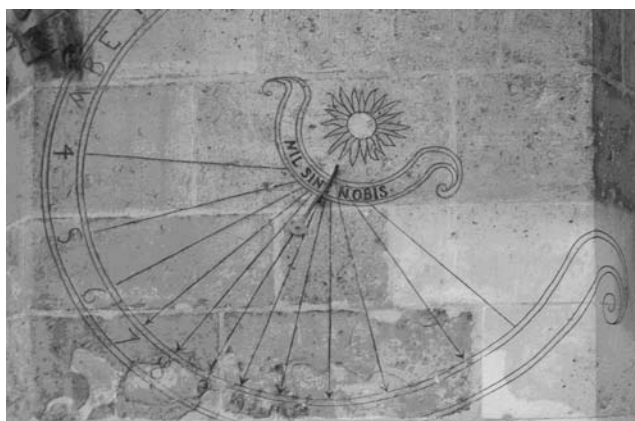


Рис. 27.4
Солнечные часы аббатства Клюни, Париж, XV в.
(фото авторов)



Рис. 27.5

Солнечные часы мечети Аль Азхар, Каир, X в. (фото авторов)

указывала бы *средний* полдень в различное время года. Во дворцах, мечетях, медресе и других общественных зданиях устанавливали разные по конструкции солнечные часы с градусными шкалами, широким диапазоном функциональных характеристик и декором (рис. 27.5).

Во второй половине X в. Ибн Юнус, придворный астроном каирского халифа Хакима, внес в гномонику усовершенствования. Он рассчитал и построил кривые *изохроны* — следы тени гномона на различных плоскостях — и доказал, что тень гномона показывает высоту над горизонтом верхнего края, а не центра солнечного диска, как полагали в Античности. Ибн Юнус опубликовал результаты своих наблюдений и дал обзор работ арабских астрономов за 200 лет. Он зафиксировал два солнечных и одно лунное затмение в окрестностях Каира в 977–979 гг. и на их основании установил вековое ускорение среднего движения Луны. Результаты были сведены им в «Хакимитские таблицы», ставшие гордостью арабских астрономов.

Поскольку тени гномона на горизонтальной и вертикальной плоскостях представляют собой соответственно котангенс и тангенс (плоская и обращенная тени), он мог использоваться как угломерный инструмент. Гномон широко применялся для решения различных астрономических задач: определения полуденной высоты Солнца, широты местности, стран света и др. Подробное описание гномонных инструментов различного вида дано в «Геодезии» Бируни. Гномоны устанавливались не только на плоских поверхностях: Бируни описывает собственную конструкцию, в которой гномон перемещается по сфере так, что вообще не отбрасывает тени. Отметив три такие точки в течение дня, затем отыскивают полюс проходящей через них окружности, который окажется под зенитом Северного полюса. Это дает возможность легко определить широту места. До изобретения компаса гномоны использовались при определении сторон света, а это было необходимым условием для других измерений. В «Каноне Масуда об астрономии и звездах» Бируни приводит восемь способов определения сторон света с помощью гномона.

Для определения времени на плоскости гномонного инструмента проводились *часовые линии*, соответствующие равным ($1/24$ часть суток) и нерав-

ным ($1/12$ часть светлого или темного времени суток) часам. В неравных часах определялось время молитв и отсчитывалось время в гражданской жизни. В равных часах шел отсчет времени при астрономических наблюдениях. Таким образом, наблюдая в двух населенных пунктах лунное затмение и точно зафиксировав момент его середины в каждом из них, удалось определить разность долгот этих пунктов. Такой эксперимент был проведен одновременно Абу-ль-Вафой в Багдаде и Бируни в Кяте, столице Хорезма. Разность местного времени в каждом из городов в момент середины затмения и составляет искомую разность долгот.

В средневековой Европе гномоникой занимались Филопон, Бэкон, Сакробоско. В конце Средних веков выделилось несколько германских ремесленных школ, специализировавшихся на изготовлении «подогнанных» по географической широте места портативных солнечных часов из слоновой кости, совмещенных с компасом. Жившие в конце XV в. в Нюрнберге и Мюнстере немецкие мастера долгое время считались «отцами гномоники», хотя этой науке было уже несколько тысяч лет [197]. Монументальный труд Петра Апиана подвел итог достижениям средневековой гномоники.

Классические гномоны устраивались по схеме обратного визирования — наблюдения за тенью [60]. Однако в Средние века был создан ряд солнечных часов, в которых высота Солнца и его склонение измерялись с помощью узкого луча, проходящего через специальное отверстие и падающего на вогнутую поверхность с нанесенной на ней шкалой. Такие инструменты являлись некоторой переходной формой от обратных визиров к прямым. К этому виду, например, относится так называемый Фахриев секстант, сооруженный в X в. аль-Ходжанди в окрестностях Рея (близ Тегерана) и послуживший прототипом гигантского секстанта обсерватории Улугбека. Этому инструменту Бируни посвятил специальное сочинение. Он же описал инструмент другого типа, в котором солнечный луч через отверстие падает на выпуклую часть шаровой поверхности.

Другой вид распространенных в Средние века визирных инструментов — *диоптрийный* — был построен по схеме прямого визирования. Основная часть таких устройств — разделенная на градусы окружность или ее дуга, вокруг центра которой вращается *алидада* с двумя диоптрами для визирования светила, высота которого подлежит измерению. Большей частью алидада имела форму линейки, но источники сообщают и о круглых алидадах в виде дисков, которые вращались, входя в паз соответствующего кольца, установленного в плоскости меридиана. Первыми по времени такими инструментами на территории Средней Азии можно считать керамические кольца и диски с делениями, обнаруженные при раскопках хорезмского храма-обсерватории. По материалу, из которого они изготовлены, эти диски и кольца совпадают с устройствами, которые описал Бируни в «Каноне Масуда», возводя их к аналогичному инструменту Птолемея. Бируни сообщает о приборах такого типа, которые применяли ас-Суфи в Ширазе и ас-Сагани в Багдаде, а также о собственных наблюдениях с помощью такого инструмента в Ургенче в 1016 г. и в Газне в 1019 г. К тому же типу относится сконструированный Бируни «трехшестовый инструмент», предназначавшийся для определения возвышения Луны и широты места по заходящим звездам.

Более сложные конструкции не только имеют алидады с диоптрами для визирования, но и моделируют расположение основных кругов небесной сферы. Главным из средневековых инструментов прямого визирования, безусловно, была астролябия.

27.3. АСТРОЛЯБИЯ

Астролябия (*позднелат.* *astrolabium*, от *греч.* *астрон* — звезда и *лабе* — схватывание) — угломерный прибор, служивший до XVIII в. для определе-



Рис. 27.6
Арабская астролябия XIII в.
[173]

ния широт и долгот в астрономии. Она являлась также своего рода аналоговым компьютером, позволяющим вычислять время по звездам и Солнцу, время восхода и захода, а также проводить ряд астрономических вычислений. Астролябия, как прибор прямого визирования, использовалась прежде всего для измерения угловых координат Солнца, Луны, неподвижных звезд и планет (рис. 27.6). Суть этой функции астролябии состоит в материальном воспроизведении стереографической проекции небесной сферы на плоскость экватора.



В метафизическом смысле зрительные лучи наблюдателя как бы исходят из полюса мира как из точки наблюдения. Сама идея такого проецирования, доведенная арабами до виртуозного мастерства, заключала в себе имитацию зрительного образа Всевидящего Ока, расположенного в Вершине Вселенной. Этот визирный инструмент определял угловые высоты небесных объектов подобно секстанту или квадранту и применялся для отсчета времени, нахождения высоты горных вершин, глубины ущелий и дальности до объектов.

Нанесенные на плоскости астролябии шкалы позволяли вычислять склонения и азимутальные координаты светил, а основные созвездия обозначались с помощью криволинейных язычков-визиров, сплетенных в единую *паучью* сеть. В этом арабы следовали античной традиции *арахны* Евдокса. В доисламский период такие приспособления использовались в раннехристианской Сирии. Первое описание арабской астролябии датируется IX в. Оригинал его не сохранился, но латинский перевод приведен в «Устройстве астролябии» Джеффри Чосера.

История астролябии охватывает много веков и культур. Известная еще древнегреческим ученым, астролябия как астрономический инструмент изготавливалась вплоть до XIX в. Было много описаний ее устройства и применений. Однако историки до сих пор не имеют полного представления о ее использовании в практической астрономии. Этот прибор работает на принципе стереографической проекции, позволяющей объемную небесную сферу отобразить на плоском диске с координатами в виде кривых линий. Движения Солнца и звезд могут отслеживаться в этих координатах, поскольку они в них определены. Большинство астролябий оснащены указателями для

выполнения необходимых наблюдений за небесными светилами, которые позволяли определить время дня или ночи. Другим назначением астролябии было представление небесного свода в прошлом и будущем, что важно для астрологии.

Стереографическую проекцию описал во II в. н. э. Клавдий Птолемей в сочинении «Планисфера». Впрочем, сам он называл астролабомом другой инструмент — армиллярную сферу. Окончательный вид астролябии был разработан в IV в. Теоном Александрийским, который называл это устройство малым астролабомом. Первые дошедшие до нас трактаты об астролябии принадлежат александрийскому философу и математику VI в. Иоанну Филопону, а также сирийскому ученому и христианскому епископу Северу Себохту, жившему в VII в. [76].

Астролябия появилась в исламском мире в VIII в. благодаря переводам греческих текстов. Считается, что первым арабским астрономом, который изготовил астролябию, был Мухаммед аль-Фазари, живший в Багдаде во второй половине VIII в. Он написал работу об армиллярной сфере, а также труд, повествующий о принципе использования астролябии. Этот инструмент стал очень популярным начиная с IX в.

Основными областями использования астролябии в то время были астрология и астрономия. Увлечение властью имущих астрологией позволяло получать от них финансовую помощь для строительства крупных астрономических приборов и обсерваторий. Астрологу Маша'аллаху приписывают авторство труда начала IX в. о конструкции и принципах использования астролябии, содержащего ее первый чертеж.

Ученые исламского Востока усовершенствовали астролябию. Известны сочинения о различных конструкциях и применении астролябии аль-Хорезми, аль-Аструлаби, аз-Заркали, ас-Сиджизи, аль-Фаргани, ат-Туси и других исламских авторов. Наиболее значимые из ранних мусульманских исследований по методам визирования с использованием астролябии принадлежат астрономам Али ибн Исе и Бируни. Трактат об астролябии ас-Суфи (903–986), дающий описание более чем тысячи способов использования этого инструмента в 386 главах, претендует на то, чтобы считаться исчерпывающим.

Старейшая сохранившаяся арабская астролябия датируется X в. (рис. 27.7). Она была обнаружена в Исфахане. Несколько арабских астролябий XI в. найдены в Индии, Марокко и Каталонии. Эти инструменты являются не



Рис. 27.7
Старейшая арабская астролябия, X в. [279]



Рис. 27.8
Астролябия из Каталонии, XI в. [268]

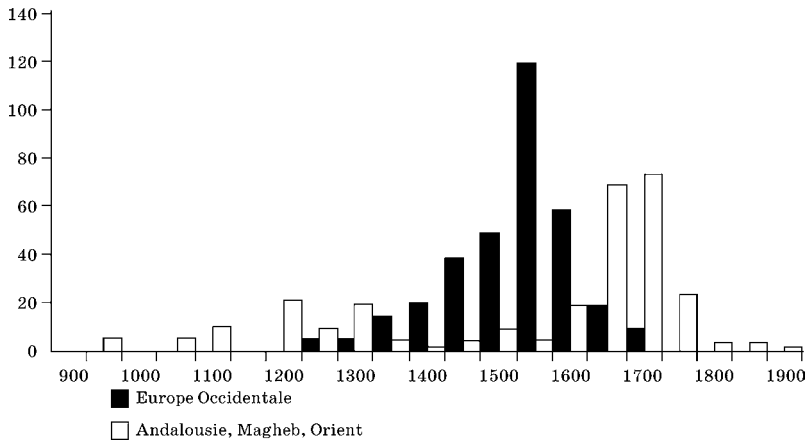


Рис. 27.9
Использование астролябии в Западной Европе [324]

только научными раритетами, но и ценными предметами прикладного искусства (рис. 27.8). Большинство астролябий были изготовлены из бронзы.

Средневековые арабские, индийские и персидские астролябии славились изысканной отделкой. Лучшие экземпляры, хранящиеся в музеях, украшены цветочными мотивами; фигурные решетки — пауки некоторых из них инкрустированы драгоценными камнями.

С XI в. астролябии становятся известны в Западной Европе, где вначале использовали арабские инструменты, а позднее стали создавать свои по арабским образцам. Самые ранние астролябии, изготовленные в Европе, относятся приблизительно к XIII в.

Пика своей популярности в Европе астролябия достигла в XV–XVI вв. (рис. 27.9); наряду с армиллярной сферой она была одним из основных инструментальных средств астрономического образования. Знание астрономии считалось основой образования, а умение пользоваться астролябией было делом престижа и свидетельством образованности. В XVI в. астролябии стали делать на основе собственных расчетов, чтобы применять в европейских широтах. Европейские мастера, подобно арабам, уделяли внимание их художественному оформлению, и астролябии стали предметом моды и коллекционирования при королевских дворах.

Средневековые латинские сочинения дают такое определение астролябии: «Астролябия является инструментом плоской фигуры, имеющей форму круга, на которую нанесено большое количество разнообразных кругов и линий, предназначенных для осуществления различных операций, как в области астрономической науки, так и при измерении Земли» [131].



Обратимся к описанию истории создания астролябии. Маша'аллах, астролог из Басры, обращенный в ислам еврей, живший в период между 750 и 815 гг., во вступлении к своему трактату об астролябии говорит следующее: «Да будет вам известно, что слово „астролябия“ имеет греческое происхождение, которое означает „взятие/принятие звезд“, ввиду того, что с его помощью принимают и понимают истинный смысл вещей, которые мы хотели и старались бы узнать, глядя

на расположение звезд. Но Ибн Ридван предлагает иное объяснение для прибора астролябии... первое, на что мы должны обратить внимание, восходящий градус в точке и моменте времени, когда „создание“ (сущность) покидает материнское чрево. <...> И именно по этой причине можно узнать для любого определенный час времени окончания создания, поскольку он смотрит посредством астролябии, которая является уже известным инструментом, и говорят, что Авраам был первым его изобретателем. Также сказано, что этот инструмент был изобретен во времена царя Соломона, сына Давида, или даже еще в более раннюю эпоху, и что ее изобрел один человек по имени Лаб и что, если Астор или Астро на иврите соответствует „линии“, то по этой причине этот инструмент и называется „Астролаб“ (Астролябия), то есть „линии Лаба“. Все это и множество других полезных вещей ему сообщил Али ибн Ридван. <...>

Птолемей также называет астролябию плоской или планисферой, поскольку она напоминает изображение сферы, лежащей на каком-то плоском основании. Что касается латинского названия *Astrolapsus*, это слово означает затемнение или падение звезд. Ибо благодаря астролябии были известны не только местонахождение знаков зодиака и звезд, но также их затемнение и падение».

Устройство астролябии. Основой классической астролябии служит *тарелка* — круглая деталь с высоким бортом и подвесным кольцом для точной нивелировки прибора относительно горизонта (рис. 27.10). Внешний лимб тарелки имеет шкалу, оцифрованную в градусах и в часах. В эту тарелку вложен *тимпан* — круглый плоский диск, на поверхности которого нанесены в стереографической проекции точки и линии небесной сферы, сохраняющиеся при ее суточном вращении. Это находящийся в центре тимпана полюс мира и концентрические с ним окружности небесного экватора, Северного тропика и Южного тропика (который обычно служил границей тимпана); затем — прямая вертикальная линия небесного меридиана; наконец, горизонт, его параллели (*альмукунтараты*), точка зенита и проходящие через нее азимутальные круги. Положение горизонта и зенита будет разным для разных широт места наблюдения, поэтому для наблюдений, производимых в разных широтах, должны быть изготовлены разные тимпаны [173].

На тимпан накладывается *паук* — круглая фигурная решетка, на которой в этой же стереографической проекции с помощью изогнутых стрелок указано расположение самых ярких звезд к северу от Южного тропика. На пауке обозначен также зодиакальный круг со шкалой, показывающей годовое движение Солнца по эклиптике. Шкала некоторых астролябий отражает даже неравномерность этого годового движения.

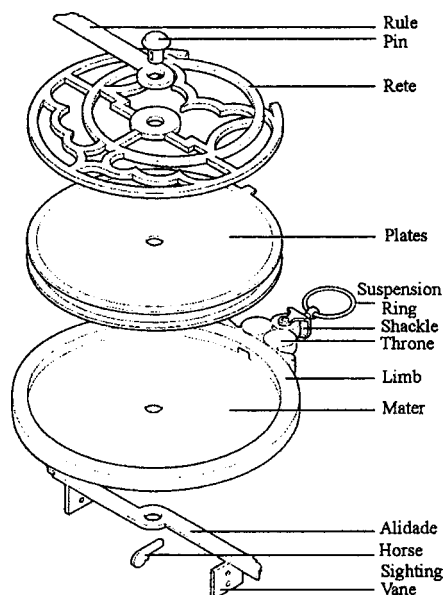


Рис. 27.10
Устройство астролябии [131]

Удобство применения стереографической проекции в астролябии состоит в том, что в этой проекции все окружности на сфере отображаются в окружности или прямые на плоскости; но прямые и окружности проще всего строятся и гравировуются при изготовлении тимпана и паука. Альмукантараты образуют на тимпане гиперболический пучок окружностей, азимутальные линии — сопряженный с ним эллиптический пучок окружностей. Все скрепляется осью, проходящей через центральные отверстия перечисленных деталей. На этой же оси с тыльной стороны тарелки крепится *алидада* — визирная линейка с диоптрами. На тыльной стороне нанесена круговая градусная шкала, по которой производятся визирные отсчеты. Здесь могут находиться разнообразные номографические шкалы — *квадраты теней*, такие как шкала тангенсов («прямая тень») и котангенсов («обратная тень»), шкала для пересчета равных часов, возникающих при делении суток на 24 части, в так называемые неравные часы, шкала для определения кыблы и т. д. Квадраты теней позволяли использовать астролябию в топографических целях для измерения расстояний.

«Обратная сторона больших астролябий использовалась не только для измерения высоты и определения длины тени, но и для изучения пространства для получения астрологической информации», — писал Бируни в «Инструкции к элементам искусства астрологии» (1030). Он утверждал, что это новшество приписывали великому математику IX в. аль-Хорезми, автору трактата об использовании астролябии.

Когда хотят определить высоту подъема солнца днем или звезд ночью, астролябию подвешивают за поддерживающее (подвесное) кольцо, называемое *армиллой*.



Конструкции астролябий были очень разнообразны. Большею частью небесная сфера проецировалась из полюса. Позже появились проекции и из других ее точек, а также комбинации стереографических проекций из двух диаметрально противоположных точек сферы, т. е. комбинации «северной» и «южной» астролябий. Таковы комбинированные астролябии ас-Сиджизи, которые описывает Бируни в своем трактате. Они названы по форме своих пауков: барабанообразная, чашеобразная, анемонообразная и т. д. Ас-Сиджизи принадлежит и челночная астролябия, в которой на тимпане изображены эклиптика и звезды, а на подвижной части — горизонты, соответствующие нескольким широтам. Их изображение имеет вид челнока, чем и объясняется ее название. Бируни описывает также «совершенную» астролябию ас-Сагани, в которой небесная сфера проецируется на тимпан из некоторой точки на оси мира. Предельным случаем проекции ас-Сагани является цилиндрическая проекция самого Бируни — ортогональная проекция небесной сферы вдоль одного из ее диаметров.

В X в. Али ибн Калаф изобрел *универсальную плоскость*, являющуюся стереографической проекцией небесной сферы на плоскость, перпендикулярную эклипике и содержащую ось солнцестояний через точки Рака и Козерога. Оригинальный способ конструирования астролябий был предложен в XI в. испано-арабским ученым аз-Заркали. В его универсальной астролябии соединены две стереографические проекции на плоскостях экватора и эклиптики [364]. Тимпан такой астролябии пригоден для любой широты,

с его помощью можно было переходить из одной системы сферических координат в другую. Его последователь Джабир ибн Афлах разработал *универсальный инструмент*, который можно было использовать не только в астрономии, но и в математике и физике.

Инструмент Ибн Афлаха рассматривают как прообраз европейского *торкветума* (рис. 27.11). Наиболее экономна по своему устройству линейная астрольбия (так называемая палка Туси), сконструированная в конце XII в. иранским астрономом ат-Туси, которая состоит из стержня с тремя нитями (отвеса, хорд и альмукантаратов) и нескольких шкал, нанесенных на стержне. Стержень представляет собой вертикальный диаметр тимпана классической астрольбии. В десятках вариантов ручных и механических астрольбий положения звезд и планет определялись с помощью колесного зубчатого механизма. Бируни и ряд андалусийских астрономов имели такие приборы, которые стали прообразом европейских механических часов.



Рис. 27.11
Торкветум [130]

Португальскими мастерами в начале XV в. была изобретена морская астрольбия — чисто наблюдательный прибор, не предназначенный для произведения аналоговых вычислений. Этот прибор сыграл важную роль в период Великих географических открытий, оснатив мореплавателей средством для определения местонахождения судна (рис. 27.12). Он изображен на памятнике Первооткрывателям в Лиссабоне, посвященном 500-летней годовщине смерти Генриха Мореплавателя (рис. 27.13).

Принцип действия астрольбии. Измерив высоту Солнца или звезды с помощью алидады, поворачивают паук так, чтобы изображение точки эклиптики, в которой Солнце находится в данный момент года, либо изображение звезды попало на изображение альмукантарата, соответствующего этой высоте. При этом на лицевой стороне астрольбии получается стереографическое



Рис. 27.12
Применение морской астрольбии.
Фрагмент миниатюры XV в.



Рис. 27.13
Применение морской астрольбии.
Фрагмент памятника Первооткрывателям,
Лиссабон (фото авторов)

изображение неба в момент наблюдения, после чего определяется азимут светила и точное время, а также гороскоп (*букв.* «указатель часа») — градус эклиптики, восходящий над горизонтом в момент наблюдения. Все остальные приемы обращения с астролябией являются производными от этого основного приема. Они могут использоваться для определения высоты удаленных зданий, деревьев и вершин, глубины колодцев (рис. 27.14).

Процесс астрономических измерений с помощью астролябии показан на рисунке 27.15. Звезда *A* представлена на плоскости небесного экватора в виде *a* таким образом, что точки *A* и *a* находятся на одной линии с Южным полюсом. Речь идет о визуальном луче. Чем ближе располагается звезда к Южному полюсу — глазу, тем больше ее отображение, проецируемое на плоскость экватора, отдаляется от центра плоскости. Также астролябия будет ограничена на юге тропиком Козерога. Для использования астролябии в иных целях (что не предусматривалось в раннюю эпоху), необходимо было выполнить стереографическую проекцию Северного полюса, при этом глаз должен быть размещен в точке небесного Северного полюса [173].

Тимпан и паук являются проекцией армиллярной сферы. Последняя состоит из подвижных элементов, представляющих движение, совершаемое небесной сферой в течение 24 часов, а также неподвижных элементов, соответствующих локальной сфере (сфере местности) и элементам, которые позволяют наблюдателю идентифицировать небесные тела на небе, такие как горизонт, зенит или местный небесный меридиан. Выполняются две стереографические проекции Южного полюса: первая — для подвижных частей — проекция небесной сферы; вторая — для неподвижных элементов — проекция определяемой локальной сферы. Проекция небесной сферы обеспечивается благодаря пауку, вращающемуся на тимпане, который блокируется в тарелке и является результатом проекции локальной сферы.



В используемых в настоящее время картах неба делают противоположное. Карта неба — фиксирована, а поворачивают при этом местный (локальный) горизонт в соответствии со временем и датой наблюдения. У изобретателя астролябии была идея создания небесной карты, которая вращалась бы над фиксированным горизонтом: в таком виде она была бы ближе к модели Вселенной, но в дополнение к горизонту можно было бы наносить другие линии идентификации. Красивая идея, богатый выбор применений.

Сначала рассмотрим круг для подвижных частей со смещенным центром, являющийся проекцией эклиптики, который указывает на различные положения Солнца по отношению к звездам в течение года. Самые яркие звезды на небе соответствуют точкам, нанесенным на пауке. Следует иметь в виду, что центр паука соответствует Полярной звезде. При вращении паука вокруг своего центра передается воображаемое движение звезд ночью вокруг Полярной звезды (предполагается, что Земля при этом остается неподвижной).

Вторая проекция используется для отображения на тимпане локальной сферы. Наблюдатель представляет себе, чтобы сориентироваться, фиксированную локальную сферу (сферу местности), на которую нанесены горизонт, круги высот всех градусов (до 90°), точка зенита и азимутальные круги в соответствии со сторонами света. Зенит, в центре сферы этой местности, по

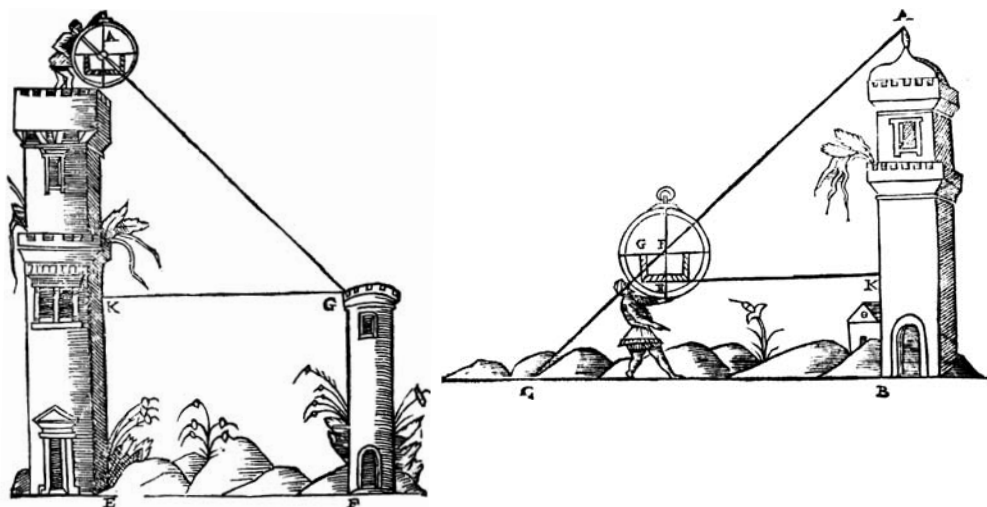


Рис. 27.14
Применение астролябии для наземных измерений [173]

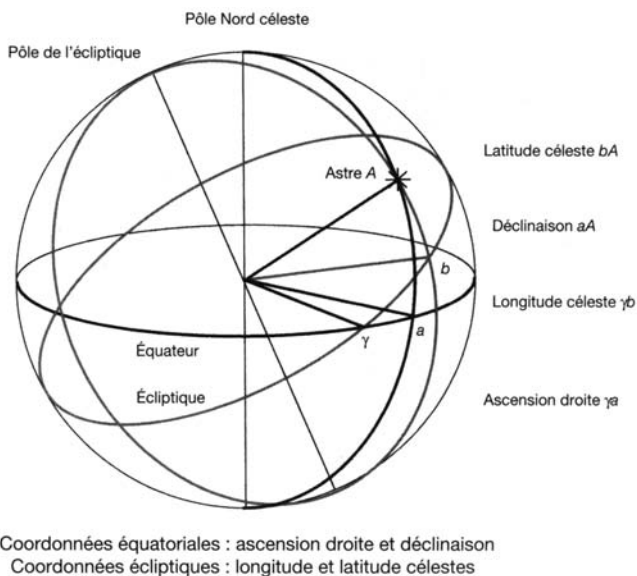


Рис. 27.15
Схема, поясняющая принцип астрономических измерений
с помощью астролябии [177]

вертикали над головой наблюдателя, не будет находиться в центре тимпана, где располагается Полярная звезда. В Северном полушарии высота Полярной звезды над горизонтом соответствует географической широте данной местности. Следовательно, тимпан связан с широтой, и его выбирают в зависимости от широты. Важным элементом для ориентирования на тимпане является дуга линии горизонта.

Для определения положения звезд используют обратную сторону астролябии, которую для этого располагают в вертикальном положении. Алидада позволяет визировать небесное тело, чтобы определить угол, измеряющий высоту светила. Когда это измерение выполнено, берут астролябию, располагают ее на плоскости лицевой стороной вверх, чтобы получить путем вращения деталей желаемую информацию, например время. Простой механизм прибора заменяет любые расчеты.

С помощью астролябии можно было решать широкий класс задач практической астрономии: определять сферические координаты светил, дугу истекшей части суток, моменты восхода и захода светил, время в равных и неравных часах и т. п. С ее помощью решался ряд геодезических задач: определение расстояний до недоступных предметов, высоты гор, холмов и зданий, к которым невозможно подойти, глубину реки, колодца и т. п. Бируни в трактате описывает устройство своего рода приставки к астролябии — изобретенного им механического календаря. Он устанавливался на ее спинке и представлял собой кольцо, диаметр которого равен диаметру спинки. Имелся набор из восьми колес с осями и крышки с отверстиями и шкалами, по которым перемещались указатели. Календарь Бируни показывал положение Солнца на эклиптике в течение его годичного оборота и Луны во время ее месячного оборота, а также фазы Луны. Кроме того, он позволял найти места соединений и противостояний этих светил, т. е. места солнечных и лунных затмений, а это позволило изготовить так называемый диск затмений [15].

Распространение астролябии на Западе. Знакомство Запада с астролябией стало знаковым моментом в научно-технической культуре Европы: «Это рискованно и потенциально обманчиво — приписать решающее значение одному событию в истории науки, но, однако, значительная доля процесса развития астрономии у романских народов на протяжении XI и XII вв. может быть объяснена появлением астролябии» [289].

Передача знаний проходила в монастырях Каталонии, в Риполе и его окрестностях. Одним из первых переводчиков с арабского языка на латынь был Ллобе из Барселоны, который в конце X в. составил «*Astrolabii Sententiae*», первый латинский текст, описывающий астролябию. Рипольские рукописи не указывают своих источников, это может быть и уже упоминавшийся Маша'аллах или трактат об использовании астролябии аль-Хорезми. Тогда же были созданы первые западные астролябии, в том числе астролябии «вестготов» из дошедшей до наших дней коллекции, представленной в Институте арабского мира в Париже (рис. 27.16). На одной из астролябий нанесены цифры из вестготского алфавита, употреблявшегося во второй половине X в.

Одним из основных распространителей арабского знания был Герберт Орильякский, кото-



Рис. 27.16
Знаменитая «вестготская»
астролябия из коллекции
Парижского института
арабистики (фото авторов)

рый пришел в монастырь Вик, в 40 км от Риполя, для изучения «*Astrolabii Sententiae*», и, вернувшись в Реймс, продолжал переписываться с Ллобе из Барселоны. Многие средневековые рукописи приписывают Герберту создание труда «Книга об использовании астрольбии», распространение которого усилило интерес к астрономическим инструментам.

Фульберт Шартрский, для которого Герберт являлся мастером и который, в частности, составил краткий глоссарий латинских и арабских эквивалентов названий деталей астрольбии, привил своим ученикам в шартрской школе вкус к изучению математики и астрономии. Он пропагандировал использование астрольбии как основного инструмента в изучении небес.

Самым известным латинским трактатом об астрольбии стал труд «*De mensura astrolabii*» («О свойствах астрольбии») Германа Контрактуса (1013–1054), разносторонне образованного настоятеля бенедиктинского монастыря Райхенау в Германии. В XII в. Раймонд Марсельский написал трактат об использовании астрольбии и дал перевод (для меридиана в Марселе) таблицы, которая являлась частью «Толедских таблиц» аз-Заркали. Трактат Раймонда стал самым ранним западным трудом об астрольбии, который не просто адаптировал арабский текст, а содержал оригинальные расчеты. Следует также упомянуть еврейского ученого-универсала Леви бен Герсона (1288–1344), жившего в Оранже и Авиньоне, которому мы обязаны добавлением по краю астрольбии поперечной шкалы, позволяющей считывать более точно угловые деления лимба.

Если принцип действия астрольбии был известен с конца X в., то ее использование стало обыденным только в XIII в. На ранних моделях, ввозимых из Испании, латинские слова были выгравированы наряду с оригиналами на арабском языке. Благодаря этому и за счет использования списков звезд, содержавшихся в трактатах об астрольбии, названия многих звезд имеют арабское происхождение: Альгол, Альтаир, Денеб, Вега.

Сама астрольбия, труды, описывающие ее устройство и принцип действия, и астрономические таблицы представляли собой средства передачи арабской терминологии небесной сферы и арабских цифр.

Применение астрольбии достигло своего пика в конце Средневековья, когда она использовалась в университетах для обучения астрономии, и в период Возрождения.

Дальнейшие усовершенствования астрольбии были связаны с делением полного круга на четыре (квадрант) или на шесть (секстант) частей.

Наряду с плоскими и линейными некоторое время существовали и сферические астрольбии. Материальных

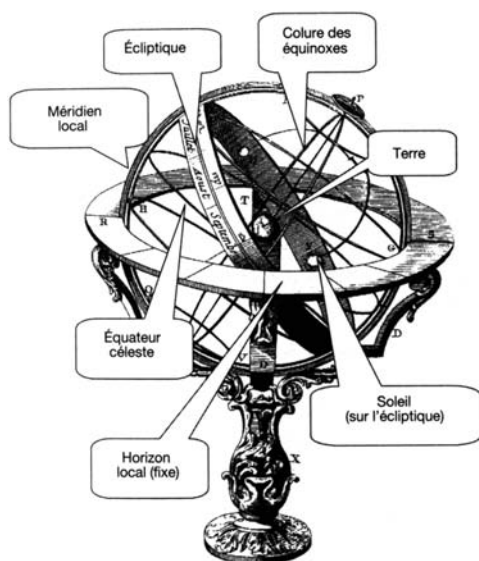


Рис. 27.17
Сферическая астрольбия

следов таких астролябий не сохранилось, но есть их описания как предшественников небесного глобуса. Последний тип визирного устройства интересен соединением свойств плоской астролябии и армиллярной сферы, использовавшейся китайскими астрономами и известной ученым средневековой Европы (рис. 27.17).

27.4. АРМИЛЛЯРНЫЕ СФЕРЫ И ДРУГИЕ ВИЗИРЫ

Армиллярная сфера, или армиллярный шар (от *лат.* *armilla* — браслет, кольцо), — это глобус, наглядно изображающий последовательность и движение небесных тел, преимущественно тех, которые принадлежат к нашей Солнечной системе (рис. 27.18). Этот астрономический инструмент употреблялся для определения экваториальных или эклиптических координат небесных светил [361]. Его изобретение приписывают древнегреческому геометру Эратосфену (III в. до н. э.). Армиллярная сфера использовалась также как наглядное учебное пособие — в качестве модели небесной сферы. Именно в таком качестве ее рассматривает математик и астроном I в. до н. э. Гемин в своем «Введении в явления». Армилла иллюстрировала геоцентрическую теорию Птолемея и являлась самой древней эмблемой астрономии.

Армиллярная сфера состоит из подвижной части, изображающей небесную сферу с ее основными кругами, и вращающейся вокруг вертикальной оси подставки с кругом горизонта и небесным меридианом. Подвижная сфера

образуется тремя основными большими кругами — небесным экватором, а также проходящими через небесные полюсы колюром равноденствий и колюром солнцестояний. Еще один большой круг, выполненный обычно в форме широкого кольца, изображает эклиптику с нанесенными на нее знаками зодиака. Кроме того, на сфере имеются малые круги, изображающие Северный и Южный тропики.

На начальном этапе развития собственной науки арабы воспользовались греческим опытом создания армиллярных сфер, однако уже с X в., после открытия законов сферической тригонометрии, перешли на конструктивно более простую астролябию. Применяя метод стереографической проекции, арабские ученые заменили наглядные, но сложные измерения с помощью шарообразной армиллы менее очевидными, зато удобными абстрактными математическими операциями с плоской астролябией. Именно поэтому, а также в силу некоторой громоздкости и трудоемкости изготовления

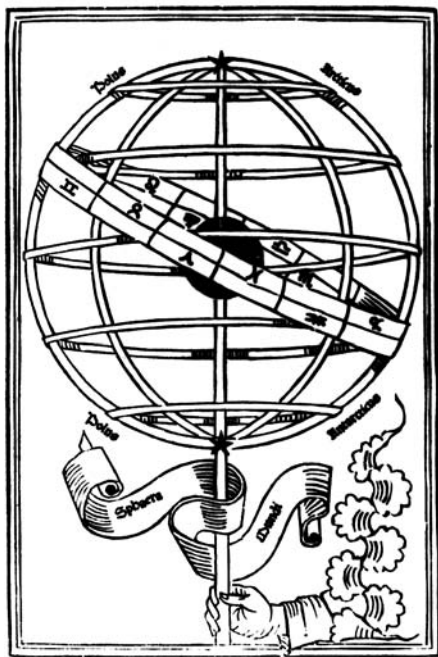


Рис. 27.18
Средневековая армиллярная сфера [131]



Рис. 27.19
Средневековая армиллярная сфера.
Пекинская обсерватория
(фото авторов)



Рис. 27.20
Упрощенная армилла.
Пекинская обсерватория
(фото авторов)

армиллярная сфера как визирный инструмент не привилась в Европе, которая пошла по пути усовершенствования конструктивно более простой астролябии.

Другая картина наблюдалась в Китае. Китайцы предпочитали наглядность и реалистичность, даже если это требовало больших трудозатрат. Поэтому бронзовые армиллярные сферы получили широкое распространение и являлись настоящими произведениями искусства (рис. 27.19). В 1154 г. была основана знаменитая императорская Пекинская обсерватория, в которой основным визирным инструментом были армиллярные сферы (рис. 27.20).

В средневековой Европе были и другие инструменты прямого визирования. Поскольку солнечные часы работают только днем, для измерения времени ночью использовали так называемый *ноктурлабиум* (рис. 27.21), с помощью которого по позиции звезд можно определить время. Ноктурлабиум можно использовать только в Северном полушарии, так как должна быть видна Полярная звезда. В качестве референтной звезды могут служить звезды Большой Медведицы, Кохаб в Малой Медведице или Шедар в Кассиопее. Одно из первых упоминаний инструмента можно найти в труде XV в. испанского ученого Мартина Кортеса де Альбакара. На внешнем кольце ноктурлабиума нанесены названия месяцев. Внутреннее серебряное кольцо имеет шкалу времени и указатель в виде маленького треугольника, который устанавливают напротив нужного месяца. Через

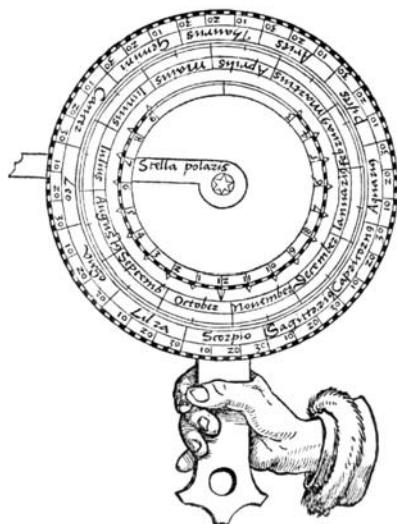


Рис. 27.21
Ноктурлабиум,
настроенный
на Полярную звезду [173]



Рис. 27.22
Региомонтан, проводящий
измерения при помощи
ноктурлабума [173]

отверстие в середине визируют Полярную звезду и устанавливают рычаг-указатель так, чтобы он показывал направление определенной незаходящей звезды. Теперь на серебряном кольце можно считать время (рис. 27.22). На средневековой миниатюре изображен астроном, в руках которого визирный инструмент для определения времени по высоте светил.

На протяжении всего Средневековья в Европе наиболее употребительным визирным инструментом оставался так называемый *жезл Якова* [295]. Он представлял собой систему перпендикулярных и взаимно перемещаемых стержней.

Средневековые ученые проявляли особое внимание к созданию визирных инструментов. Их астрономические приспособления отличаются изящным дизайном, богатством украшений и сочетанием красоты и пользы. Любовь к астрономическим приборам выражалась в

почти обязательном использовании копий визирных приспособлений в дворцовых интерьерах. Так, халифы из династии Омейядов украшали жилища настенными изображениями и моделями наблюдательных инструментов. Эта традиция была продолжена в персидских дворцах Исфахана и Шираза. Описанию астролябий, армиллярных сфер, квадрантов, секстантов, параллактических инструментов, звездных глобусов посвящено много богато иллюстрированных трактатов.

27.5. КВАДРАНТ

Визирный квадрант — угломерный инструмент для измерения угла наклона поверхностей к горизонтали (рис. 27.23). Этот астрономический прибор был в употреблении для измерения высот небесных светил вплоть до начала XX в. Он представлял собою четверть круга, разделенную на градусы и установленную в вертикальной плоскости. На одной из сторон укреплялась линейка с диоптрами. Начало отсчета, место нуля, определялось отвесом, закрепленным в вершине прямого угла. Продолжение направления линейки до дуги квадранта давало зенитное расстояние. Примеры квадрантов, использовавшихся в обсерваториях, приведены на рисунке 27.24. Как нетрудно видеть, гравировки на лицевой стороне содержат не только угловую градусную шкалу, но и названия месяцев, а также квадрат теней. Таким образом, этот инструмент мог использоваться для измерения времени суток.

Квадранты нашли применение не только в астрономии (рис. 27.25), но и в военном деле и топографии (рис. 27.26). На иллюстрации из средневекового трактата (рис. 27.27) представлен Птолемей с музой астрономии. Ученый держит в руках квадрант, направляя его на небесное светило, в нижнем левом углу изображена армиллярная сфера. На другой иллюстрации (рис. 27.28)



Рис. 27.23
Использование
астрономического
квадранта [226]



Рис. 27.24
Универсальный квадрант неравных часов
или «старый настенный», конец XIV в., латунь [361]



Рис. 27.25
Астроном, наблюдающий метеор
с помощью квадранта [268]

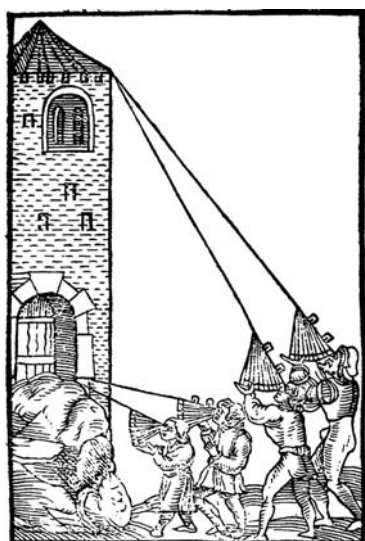


Рис. 27.26
Использование
топографических
квадрантов [173]



Рис. 27.27
Птолемей с квадрантом,
наблюдающий звезды в сопровождении
самой Астрономии [131]



Рис. 27.28
Птолемей с квадрантом,
наблюдающий звезды и указывающий
на землю, объясняя связь
между географией и астрономией [131]

квадрант в руках все того же Птолемея перевернут (направлен на землю), чтобы показать его геодезическое применение [41].

Одним из первых текстов, дошедших до наших дней и связанных с использованием квадранта, было описание, сделанное во II в. Птолемеем в «Альмагесте» (книга I, глава X), касающееся измерения меридианных высот подъема Солнца (в полдень): «Мы сделали это наблюдение [за Солнцем] в еще более удобной для нас форме, воспользовавшись вместо кругов [армилл] четырехугольным параллелепипедом из камня или дерева, хорошо обтесанным, и так, чтобы одна из сторон была очень гладкой и хорошо выровненной. На этой стороне, приняв за центр один из его углов, мы наносим четверть ок-

ружности... Разделяем эту дугу на 90 частей и производим более мелкое деление шкалы, а затем, зафиксировав на одной из прямых линий, которая должна быть перпендикулярна к плоскости горизонта и со стороны юга (полдня), два небольших, совершенно одинаковых прямых цилиндра, выполненных в форме маленькой колонны; при этом один цилиндр должен находиться в точке центра, а другой — на самой крайней нижней точке этой прямой. Мы помещаем эту поверхность параллелепипеда на меридианную линию, которая проведена в плоскости внизу таким образом, чтобы эта лицевая сторона была параллельна плоскости меридиана и линии свинцового прута, которая проходит через маленькие цилиндры и перпендикулярна плоскости горизонта. <...> Таким образом, мы наблюдали в полдень тень от малого цилиндра, находящегося в точке центра, устанавливая в то место, где она попадала на градусную дугу, что-нибудь, что давало нам возможность лучше ее различить; и, отмечая середину этой тени, мы определяли деление дуги этой четверти круга, совпадающее с этой серединой».

Принцип квадранта Птолемея был использован арабскими астрономами, которые оснастили свои обсерватории инструментами, иногда достигавшими гигантских размеров для повышения точности наблюдений [240]. Так, например, размеры конструкции большого квадранта Самаркандской обсерватории составляли десятки метров (см. рис. 27.29).

Вскоре после перевода «Альмагеста» появилась необходимость обновления и уточнения результатов Птолемея, в связи с чем была организована программа исследований от Дамаска до Багдада. В Дамаске посвятили проведению наблюдений целый год (828), чтобы проверить теории, предложенные Птолемеем. Такая серия непрерывных измерений была осуществлена впервые. До наших дней не дошло четких сведений об использовавшихся при этом инструментах, но, вероятно, речь идет об устройствах, аналогичных описанным в «Альмагесте».

Известно, что в начале X в. великий наблюдатель аль-Баттани (858–929) проводил на севере Сирии измерения с помощью полутораметрового квадранта, размещенного на меридианной стене.

В конце X в. был сделан важный шаг по увеличению точности измерений благодаря строительству недалеко от Тегерана в городе Рее большого квадранта или, скорее, секстанта, поскольку на градуированной дуге была шкала, ограниченная 60° (в тексте документа инструмент из Рея называется *ас-судс*, т. е. шестая часть круга). Он действовал по принципу камеры-обскуры, обеспечивающей более точное изображение Солнца. Никаких археологических доказательств существования этого инструмента до сих пор не обнаружено, но найдено несколько его описаний, в частности, сделанных Бируни, который, без сомнения, видел его во время своего пребывания в Рее в 995 г. Огромная дуга круга, радиусом приблизительно 20 м, в той части инструмента, которая углублена в землю, была окружена вертикальными стенами и погружена в темноту. Единственное маленькое отверстие, выполненное в направлении меридиана, в центре круга, позволяло проникать туда солнечным полуденным лучам.

Угловой диаметр Солнца составляет $32'$ дуги. Изображение Солнца на градусной дуге в этом случае — круг, диаметр которого составляет примерно 19 см (если считать отверстие в потолке точечным).



Теоретически это позволяет получать измерения большой точности. В текстах также указывается, что на приборе была нанесена градусная шкала с шагом $10''$. Достижение такой чувствительности сомнительно, поскольку уже при угловых измерениях в $2'$ должны были возникнуть технические трудности. Первая проблема — это определение центра изображения Солнца, чьи контуры не являются четкими; второй проблемой становится определение точного положения отверстия в потолке. Бируни сообщал, что в 994 г. (год постройки этого прибора) крыша осела в том месте, где находилось отверстие, через которое проникал солнечный свет. Чтобы облегчить определение местоположения светового пятна, был разработан оригинальный способ. Кольцо с тем же диаметром, что и светящийся диск, и снабженное решеткой, позволяющей определить центр, накладывалось на изображение Солнца и скользило, следуя за его движением.

Первая большая обсерватория с монументальным квадрантом была основана около 1074 г., вероятно, в районе Исфохана в Иране. Известно, что там работал Омар Хайям. Она стала предшественницей обсерватории в Мараге, одной из самых известных, которая была основана в середине XIII в. на северо-западе Ирана, недалеко от нынешнего Тебриза, с целью обновления астрономических таблиц и совершенствования глобальных моделей. Проектировщиком обсерватории был великий математик и астроном Насир ад-Дин ат-Туси, а разработкой инструментов занимался аль-Урди (ум. 1266 г.). В Мараге существовал монументальный квадрант, подобный инструменту из Рея.

В текстах мы встречаем упоминания о настенных квадрантах. В результате археологических раскопок в Мараге было обнаружено основание дуги радиусом больше 18 м. Среди «привычных» инструментов Марагинской обсерватории находились и новинки. На горизонтальном круге были установлены два вертикальных подвижных квадранта, которые могли одновременно

определять высоту двух небесных тел и осуществлять измерения горизонтальных углов (азимутов). Первая программа непрерывных наблюдений проводилась в течение 12 лет (период Юпитера), прежде чем были составлены итоговые таблицы.

Период наиболее активной деятельности основанной в 1420 г. обсерватории в Самарканде пришелся на XV в.; наблюдения велись там вплоть до 1500 г. Ее развалины, обнаруженные в 1908 г., сегодня доступны для осмотра. Сохранился фундамент большого здания круглой формы, а также углубленный в землю гигантский квадрант, самый крупный из когда-либо построенных, сходный с квадрантом в Рее. Порода выдолблена вертикально в виде дуги окружности около десяти метров в глубину. На подземной части квадранта должна была быть дуга, опирающаяся на кирпичную конструкцию, высотой 30 м от уровня пола, т. е. длина луча квадранта составляла более 40 м; солнечное пятно при этом имело около 37 см в диаметре. В подземной части сооружения сегодня можно видеть кирпичную лестницу, нисходящую по дуге круга (рис. 27.29). В центральной части лестницы возведены две небольшие параллельные стенки, покрытые белыми мраморными пластинами. Они формируют правильную дугу, на которой нанесены градусная шкала и различные надписи. Эта двойная дуга, вероятно, была оборудована тележкой, которая перемещалась по рельсам и была снабжена диском, сходным с диском из Рея.

Автором идеи создания Самаркандской обсерватории был «великий принц астрономии» Улугбек (1394–1449), а ее проект был разработан астрономом, математиком и архитектором аль-Каши (ок. 1380–1429), который был родом из Кашана (Иран). Вот что писал аль-Каши об этой обсерватории: «Само строительство обсерватории велось в соответствии с моими рекомендациями. <...> Его Величество сам вносит вклад в науки, и ученых здесь великое множество. <...> В настоящее время большинство зданий обсерватории построено; армиллярная сфера уже сделана. Многие другие инструменты построены, такие как азимутальный квадрант, инструменты с подвижным визиром и т. д.». Благодаря наблюдениям, сделанным в обсерватории Самарканда, стало возможным создание астрономических таблиц Улугбека.

Первые упоминания об астрономических наблюдениях, сделанные на латинском языке, также связаны с квадрантом. В 1283 г. Пьер из Лиможа занимался астрономическими наблюдениями, используя большой квадрант из дерева и меди, снабженный градусной шкалой с шагом 5' дуги. В 1319 г. Жан из Мюра применял квадрант, радиус которого составлял около 5 м.

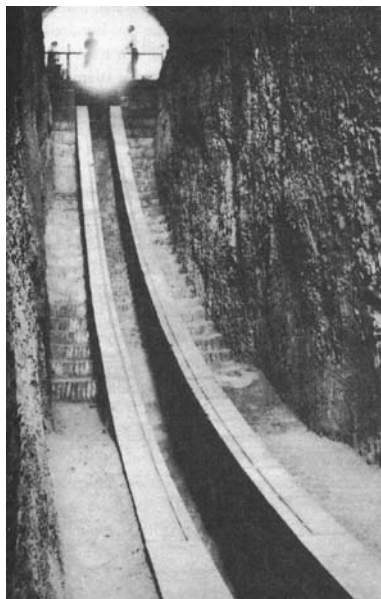


Рис. 27.29
Подземный секстант
в Самарканде,
построенный Улугбеком

Древний квадрант, *quadrans vetus*, стал называться так после того, как на Западе в конце XIII в. появился *quadrans novus*, квадрант астролябии. Однако этот новый квадрант не сместил с трона бывший квадрант, который находился в употреблении на протяжении тысячи лет и, без сомнения, является наиболее распространенным после астролябии средневековым астрономическим инструментом. Изучение этого прибора входило в программу средневековых университетов, и трактатов, описывающих его конструкцию и применение, было предостаточно. Он использовался, чтобы сообщить время (речь шла о неравных — планетарных — часах) в зависимости от высоты подъема Солнца, и от его формы, являвшей собой четверть круга. Отсюда происходит термин *кадран* (квадрант), обозначающий любой тип солнечной шкалы, а затем и часового циферблата. Но, несмотря на все это, экземпляры старого квадранта, которые дошли до наших дней, можно встретить очень редко. Для объяснения этого парадокса остается предположить, что большинство квадрантов (в особенности простых квадрантов, для заданной широты), намного менее вычурных, чем астролябия, было сделано из дерева и по этой причине исчезло из употребления. Все сохранившиеся квадранты представляют собой выполненные из латуни (меди) циферблаты, снабженные подвижным курсором, который позволяет использовать их на любой широте. Подвижный курсор не является необходимым для функционирования инструмента; данные, которые он предоставляет, могут быть заменены астрономической таблицей меридианных высот.

Старинный квадрант можно увидеть в Оксфордском музее (рис. 27.30); он снабжен квадратом теней, топографическое использование которого не имеет ничего общего с измерением времени и уже обсуждалось в связи с астролябией. Арабское происхождение этого квадранта не вызывает сомнений, поскольку его схема неравных часов появляется приблизительно в то же время, что и квадрат теней — к концу IX в. Эта схема связана с формулой, дающей приблизительно неравный час в зависимости от высоты h Солнца

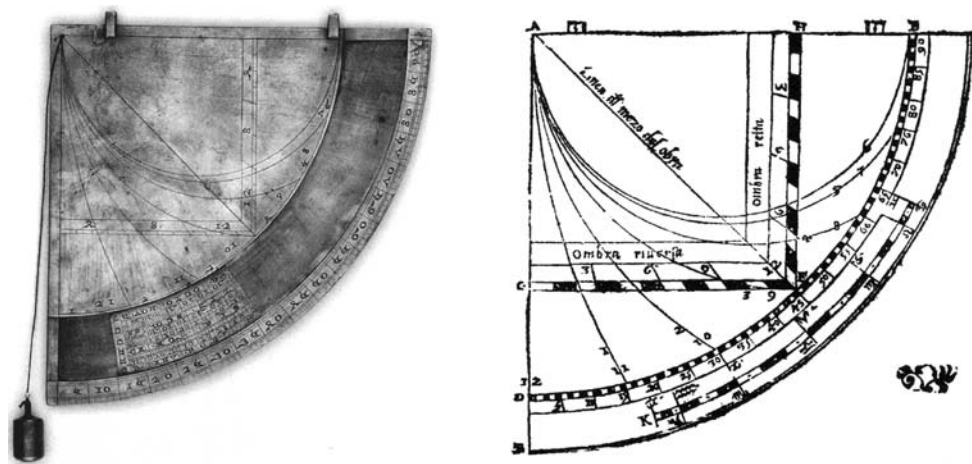


Рис. 27.30

Квадрант неравных часов и прорись аналогичной гравировки.
Начало XIV в., Эшмолианский музей, Оксфорд

в момент измерения и его меридианной высоты h_m в полуденный час в день измерения. Эта формула использует синусы и, возможно, создана под индийским влиянием, поскольку синусами высот мы обязаны индийским астрономам.

До недавнего времени не был известен ни один арабский трактат, описывающий инструмент с подвижным курсором. В качестве самых древних источников выступали латинские тексты, как, например, трактат о квадранте Сакробоско (ок. 1239 г.). В 2002 г. Дэвид Кинг [234] обнаружил в Каире рукописную копию, датируемую примерно 1800 г., арабского трактата IX или X в., описывающего древний багдадский квадрант. Локализация написания данного трактата — Багдад — не оставляет никаких сомнений, учитывая широту в 33° , обозначенную как местная. Что касается автора, то, по мнению Кинга, речь могла идти об аль-Хорезми, которому принадлежит самый древний известный трактат о квадранте для указанной широты и о синус-квадранте. В труде аль-Марракуши (Каир, ок. 1280 г.) синус-квадрант называется синус-квадрантом аль-Хорезми, а квадрат теней — квадратом теней аль-Хорезми. Курсор, который до этого времени появлялся только в текстах латинского Запада, детально не описывается в багдадском трактате. Однако из текста следует, что курсор в некоторых квадрантах зафиксирован, а в других квадрантах он подвижный, и разъясняется принцип его настройки по широте. Можно предположить, что этот текст, написанный в Багдаде в конце IX в., попал в Андалусию и стал известен латинянам в XII в.

ОПТИЧЕСКИЕ ЗАГАДКИ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Кто изучает прошлое, знает настоящее.

Японская пословица

По традиции окончание каждого тома учебного пособия «Пять тысячелетий оптики» посвящается оптическим загадкам того или иного хронологического периода. Уже были рассмотрены загадки архаических мегалитов и первых визирных систем, феномены кварцевых черепов и мистификации камней Ики, легенды об античном световом телеграфе, мифы о волшебных бронзовых зеркалах и хрустальных шарах. В отличие от строгой фактологии других разделов книги, эти рассказы заведомо не претендуют на стопроцентную достоверность. Более того, здесь мы намеренно ссылаемся не только на проверенные источники, но и на информацию, которую классическая история науки рассматривает как сомнительную. Тем не менее жанр «технических анекдотов» представляется нам уместным даже в такой, казалось бы, специальной области, как история оптики. И дело не только в том, что они могут оживить любое, даже самое скучное и сухое, повествование. Сказки, легенды и мифы строятся не на пустом месте, они всегда содержат в себе дух времени, отголоски давно минувших событий и поучительные выводы для будущего. Прошлое действительно видится нам через «мутное стекло» или «тусклое зеркало», искажающее, преувеличивающее, иногда переворачивающее. Но в любом случае в основе этого образа почти всегда лежит некая тайная сущность, разгадывание которой есть процесс увлекательный и поучительный. Кроме того, как показывают многочисленные примеры, даже фантастические устройства прошлого зачастую играют роль катализатора научно-технического прогресса и могут превратиться в реальные изобретения.

Период Средневековья породил множество загадок и полуволшебных историй о технических достижениях, в том числе в области оптики. Из этого разнообразия было трудно выбрать именно те, которые отвечали бы изложенным выше принципам. История легендарных зеркал Фаросского маяка, начинающаяся еще в Античности и продолжавшаяся более тысячи лет, оказалась поучительной с точки зрения представлений об удивительных свойствах вогнутых зеркал. Многочисленные намеки на создание телескопа задолго

до Галилея также заслуживают внимания, хотя бы из-за того, что «диопринные» трубки древности, полые или снабженные линзоподобными элементами, реально использовались в Средние века для визирования небесных светил. Два сюжета из истории викингов были выбраны как наиболее подтвержденные материально. Так называемые линзы Висби действительно представляют собой оптически совершенные объекты, а использование исландского шпата в качестве волшебного кристалла для ориентации в туманных северных морях сегодня не только считается доказанным, но и стало основой специфических навигационных приборов. Наконец, интригующая и широко обсуждаемая проблема изображения на Туринской плащанице, естественно, не могла не попасть в поле зрения исследования, посвященного оптическим загадкам Средневековья.

28.1. ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛА АЛЕКСАНДРИЙСКОГО МАЯКА

Античная легенда гласит, что еще Пифагор читал будущее, направляя зеркало на Луну. Саму Луну считали огромным зеркалом, которое отражало свет Солнца. В античных трактатах по астрологии, в которых устанавливалась связь планет и металлов, Луна всегда сопоставлялась не только с серебром, но и с хрусталем и стеклом. В одной из поэм цикла «Афинские ночи» Лукиан из Самосы описывал королевский дворец на Луне и его зеркало, которое отражало все города и все народы Земли. Здесь он, несомненно, вдохновлялся одной из легенд, истоки которой теряются в глубине веков. Лукиан позволяет своему герою, попавшему на Луну и пожелавшему разглядеть подробности земной жизни, многократно усилить зрение заменой своего хрусталика глаза на орлиный [76].

Если поверить свидетельствам того, что в древности существовали вогнутые бронзовые зеркала, способные зажигать прут, то допустимо предположить, что наблюдательным античным и средневековым ученым удалось заметить увеличительный эффект таких зеркал. А в сочетании с небольшим выпуклым зеркалом или хорошего качества хрустальной *чечевицей* такие зеркала могли стать основой телескопической системы с 5–6-кратным увеличением. Такое предположение не кажется фантастическим, если вспомнить легенды, окружавшие одно из чудес античного мира — Александрийский (Фаросский) маяк (рис. 28.1) [385]. Сохранившиеся описания бронзовых зеркал маяка датируются эпохой Средних веков.

Маяк на острове Фарос у входа в порт Александрии (рис. 28.2), построенный в начале III в. до н. э. архитектором Состратом из Книда, был одним из семи чудес античного мира. Имя его стало нарицательным для обозначения всех сигнальных прибрежных башен в Европе (*лат. pharos* — маяк, светоч). Автомобильные *фары* также обязаны своим названием маяку с Фароса. По описаниям Страбона, Лукиана и Плиния, сооружение имело квадратное основание 180×180 м, на котором находился большой дворец с четырьмя башнями по углам. В центре поднимался первый ярус четырехугольной башни с основанием 30,5×30,5 м, высотой около 70 м. На ней возвышался второй ярус восьмигранной башни высотой около 40 м, над которым был воздвигнут



Рис. 28.1
Александрийский маяк

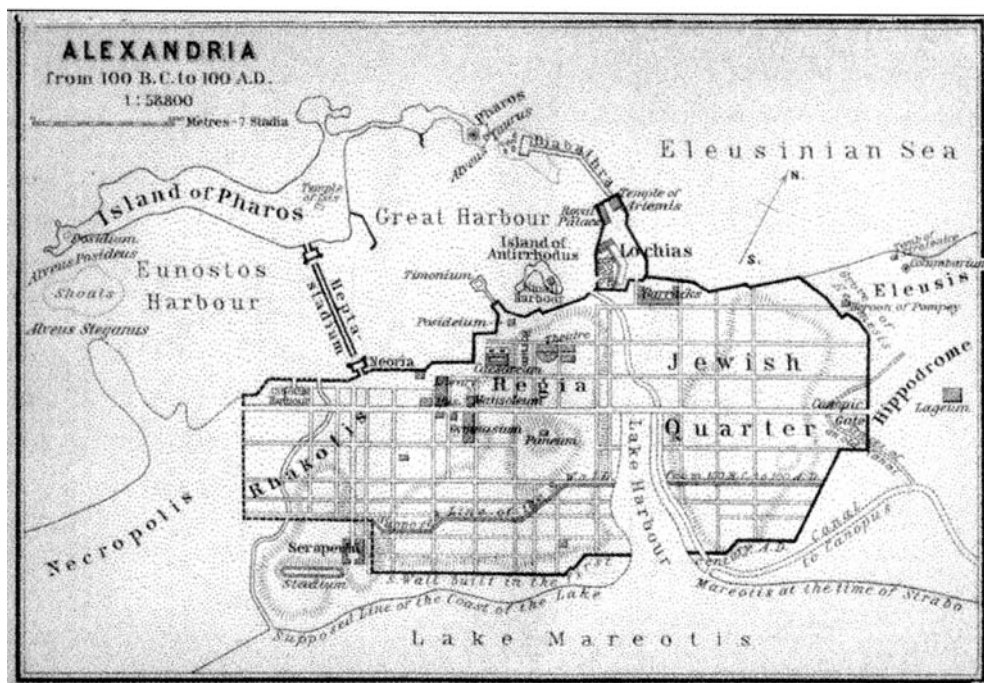


Рис. 28.2
Старинный план Александрии

третий ярус круглой башни с колоннами. Все строение завершалось конусообразным куполом, на вершине которого была установлена семиметровая позолоченная статуя бога морей Посейдона с лицом Александра Македонского.

На башнях были установлены различные устройства, о которых ходили легенды как о чудесах механики. На средней восьмигранной башне располагались статуи из бронзы. Одна из них всегда показывала рукой точно на солнце, следя за ним, и опускала ее, когда оно заходило за горизонт. Другая статуя отбивала каждый час времени днем и ночью. Третья статуя указывала рукой на море при появлении неожиданных кораблей и издавала предупреждающий сигнал при их приближении. Предания сообщают, что на маяке имелось устройство, позволяющее поджигать вражеские корабли в любое время суток.



Исторические свидетельства указывают на то, что на маяке в ночное время горело несколько ярких светильников с автономным источником питания. При необходимости увеличения яркости свечения на них надевался колпачок, что позволяло видеть огонь маяка на расстоянии до 60 км. Древние письменные источники повествуют, что подобные светильники имелись в храмах многих стран Африки, Европы, Азии и Америки [38]. Их свечение нельзя было затушить ни ветром, ни водой.

Например, у второго императора Рима Нумы Помпилия (715–673 гг. до н. э.) имелся «вечный» светильник в виде шара, излучавший свет под куполом его храма. Павсаний отмечал, что в храме Юпитера на Капитолии изображение Афины Паллады, привезенное из Трои, освещалось «вечной» лампой, не нуждавшейся в масле. Святой Августин писал, что в храме Изиды в Эфесе (Египет) светильник исправно горел на протяжении 500 лет, вплоть до правления Юстиниана Византийского (VI в.). Все это делает не таким невероятным использование подобных светильников на маяке.

Зажигательные и телескопические зеркала, направленные во все стороны, зеркала, показывающие будущее, зеркала, которые защищают от чудовищ и возвышаются на оборонительных укреплениях, описывались во многих средневековых летописях [126]. Наиболее часто в этом контексте упоминались Сиракузы, Константинополь и Александрия.

«Он поставил башни на берегах моря и установил различные зеркала... Некоторые отражали лучи солнца на вражеские корабли, зажигая их, в других можно было видеть города, расположенные на другом краю моря, в третьих можно было видеть регионы Египта. С опережением на год обнаруживались области, которые будут плодородными, и те, которые станут бесплодными, а также будущие события в стране. Некоторые не позволяли морским монстрам причинять вред жителям». Это описание взято из «Краткой книги чудес» — арабского сочинения, составленного из преданий жрецов и описаний традиций коптов легендарного Египта [111]. Его тысячелетней цивилизации были известны отражательная магия и наука. Легендарные повелители долины Нила могли бы использовать подобные инструменты: «Царь Некрао построил купол с укрепленными свинцом опорами, а наверху закрепил зеркало из хризолита размером в семь пядей (почти два метра), сияние которого было заметно с огромного расстояния. Сурид изготовил зеркало слож-

ного состава, в котором можно было видеть климат [регионов] мира, их населенные области, пустыни и все, что там происходило; это зеркало было установлено на маяке из меди. Там можно было различить всех путешественников, которые приближались к Египту с любой стороны» [111]. Подобное зеркало, в котором можно видеть все области мира, по письменному преданию, было создано Адимом, другим египетским царем.

В исторических свидетельствах об увеличивающих бронзовых зеркалах местонахождение некоторых из них было указано точно: «В центре Рхондах (на месте будущей Александрии) царь построил купол из позолоченной меди, на котором установил зеркало, предупреждавшее о появлении врагов. Тогда отражались лучи, огонь которых поджигал их корабли» [111]. Подобные записи легли в основу легенд о Фаросском памятнике, сохранных во многих средневековых текстах. Одно из ранних свидетельств относится к IX в. [353].

Ибн Хордадбех, персидский путешественник, посетивший Египет около 875 г., сообщает, что на башне Фаросского маяка было установлено зеркало: «Тот, кто сидел под ним, видел тех, кто находился в Константинополе, несмотря на то что их разделяла вся морская ширь. Маяк находился на стеклянной раке». «Во Вселенной есть четыре чуда: первое — это зеркало, подвешенное в Александрийском маяке», — заявляет другой арабский бытописатель, Ибн аль-Факих, в 903 г. [178].

Но самым полным описанием этого монумента мы обязаны аль-Масуди, арабскому Геродоту, который в 954 г. подробно запечатлел образ воздвигнутого на стеклянном пьедестале маяка, увенчанного бронзовыми зеркалами и статуями: «Указательный палец правой руки одной из этих статуй был постоянно направлен на солнце: если оно находилось на середине своего пути, палец указывал его положение. Если оно скрывалось за горизонтом, рука статуи опускалась и так описывала вращение светила. Другая статуя отмечала все часы дня и ночи гармоничным звуком, издаваемым каждый час. Рука третьей статуи была обращена к морю. Как только враг оказывался на расстоянии ночи плавания, эта статуя издавала тревожный звук. Жители, предупрежденные таким образом о приближении врага, могли наблюдать за его перемещением» [269].

Как астрономическая и военная обсерватория, Александрийский маяк был снабжен устройствами, следившими за движением времени, небесных тел, кораблей, и обладал еще одним удивительным инструментом: «Они [строители] задумали маяк как часового, расположив в верхней части большое зеркало, сделанное из какого-то вида металла с прозрачными пластинками, позволяющими им видеть идущие из Рима корабли на расстоянии, которое не могли бы преодолеть глаза» [269]. Это было именно то приспособление, которого враг боялся больше всего и на которое затем в первую очередь направил атаку.

Уничтожение грозного оружия арабских завоевателей Египта было доверено евнуху царя Византии, который смог добиться расположения халифа аль-Валида (706–715), обратившись в ислам. Он убедил повелителя в том, что все сокровища земли, собранные Александром во время его завоеваний, находились там, в устье Нила, хранясь в сводчатых подземельях. Для их защиты от любой военной хитрости над подземельями была воздвигнута башня

в тысячу локтей со сторожевым постом наверху, снабженным следящим устройством. Заинтересовавшись этим откровением, владыка правоверных поручил самому евнуху разрушить памятник, чтобы завладеть золотом и драгоценностями, которые таились в его полости. Евнух уничтожил зеркало и скрылся, оставив после себя полуразрушенный маяк, который еще существовал во время этого рассказа в 332 г. по хиджре (954) [269].

Распространившись по всему Востоку, легенда о маяке постоянно обростала подробностями. По свидетельству Макдиси от 985 г. [178], в башне было триста комнат, куда можно было заехать на коне. Днем и ночью в зеркало, которое затем обманом выкрал византийский шпион, всматривался старец. Согласно тексту аль-Казвини (1270) башен, возведенных друг на друге, было три: квадратная, восьмиугольная и круглая. Аль-Димиски около 1300 г. писал, что сам «маяк был возведен в 1200 г. после потопа, чтобы наблюдать за звездами. Говорится, что он был в тысячу локтей высотой, а наверху маяка находилось зеркало, направленное на море, которое за три дня отражало приближающиеся корабли» [170]. Еще 20 лет спустя Абдулфедха уточняет, что это зеркало было из «китайского железа» [110].

Идея о том, что в основе двух различных эффектов — зажигательного и увеличительного — может лежать одна и та же конструкция вогнутого зеркала значительной апертуры (большого диаметра) и малой кривизны (сравнительно большого фокусного расстояния), подтверждается их постоянными совмещениями в одних и тех же свидетельствах. Одним из примеров объединения зажигательного и телескопического зеркала является текст Насири Хосрова [330], персидского путешественника, повторившего в 1047 г. путь Ибн Хордадбеха. «Я видел в Александрии маяк, который хорошо сохранился. Когда-то на его вершине было установлено зеркало, поджигавшее греческие корабли на подходе к Константинополю, когда те оказывались перед ним», — отметил он, приписывая устройству одновременно дальнотворную и разрушительную силу.

Такое же двойное действие александрийского зеркала описывает Ахмед эль-Абсиhi около 1440 г.: «Рассказывают, что на вершине этого маяка находилось зеркало из китайской стали, размером семь локтей (около трех с половиной метров), в котором отражались корабли, когда они были на уровне острова Кипр. Говорили, что в зеркале можно было видеть корабли, которые отплывали из любой страны Рума. Если они были вражескими, им позволяли приблизиться к городу, и когда солнце переходило через зенит и начинало снижаться, зеркало поворачивали в сторону светила и направляли на корабли. Отраженные от зеркала лучи падали на корабли, зажигая их и приводя к гибели всех, кто на них находился» [114].

Хотя долгое время легенда о египетском чуде распространялась в своих архаичных версиях, связанных с царями Са, Никрао и Сусидом, собственно тексты о зеркале, показывающем очень далекие (иногда скрытые за горизонтом) предметы, появляются между VII и IX вв. и связаны с эллинистическим Фаросским маяком. Магический зеркальный отражатель заменил архаичный диск, размещенный наверху башни. Таким образом, самое старое упоминание о зеркале, дошедшее до нас, восходит к 875 г., а в течение X в. (903 г. — Ибн аль-Факих; 954 г. — аль-Масуди; 985 г. — Макдиси) увеличи-

ваилось число версий легенды, все более полных, которые к XV в. обогатились двумя новыми элементами: Китай и воспламеняющая способность. Первый берет начало во влиянии Дальнего Востока на исламские страны в эту эпоху; второй не лишен связей с византийской легендой о Сиракузах и Константинополе.

На Западе мистический маяк, построенный на «четыре-х стеклянных раках», также сменился Александрийской башней с зеркалом. Его описанием мы обязаны Вениамину Тудельскому, испанскому раввину, совершившему «кругосветное» путешествие по Средиземноморью. В «Путевых заметках», составленных по возвращении в 1173 г., он написал: «Жители того места называют его Маграах, а арабы — Магар Александрия, то есть Александрийский маяк. Уверяют, что Александр установил на верхушке этой башни стеклянное зеркало, в котором можно было видеть на расстояние более 50 парасангов боевые корабли, которые прибывали как из Греции, так и с Запада с намерением навредить Египту, таким образом, что можно было подготовиться к обороне. Эта защита сохранялась долго после смерти Александра вплоть до того дня, когда корабль с капитаном по имени Содорус приплыл в Александрию и бросил якорь рядом с маяком» [89]. Евнух из текста аль-Масуди в этом рассказе заменен моряком, имя которого приводит только раввин. Этот моряк использовал другую хитрость, направленную не на повелителя, а на местную стражу, усыпив ее вином. Разрушение зеркала нанесло роковой удар по Египту, который потерял острова Кипр и Крит. Причиной его упадка, как и в арабском варианте, были действия иноземца.

Изображение маяка сохранилось на ряде старинных монет (рис. 28.3, 28.4). Александрийский маяк появляется также на карте Пейтингера [169], которая охватывала территории, завоеванные Александром. Как и в описании аль-Казвини, там он оказывается состоящим из трех уровней, последний из них — это цилиндрическая башня, похожая на колонну, на которой расположено гигантское круглое зеркало. Известно, что знаменитую легенду в 1260 г. воспроизвел по античному документу и проиллюстрировал монах Корбие, который модернизировал все изображения памятников. Изображения маяка из рукописей, обнаруженных в библиотеке Андалусии, приведены на рисунках 28.5, 28.6. На основе латинских и арабских средневековых изображений в 1909 г. Германом Тиршем были проведены реконструкции (рис. 28.7, 28.8) [385].

Отголоски легенды о зеркале Фаросского маяка можно найти в английском тексте XIII в. Роджер Бэкон, уверявший, что можно прогнать сарацин и татар с помощью двенадцати зажигательных зеркал, упоминает в своих «Чудесах природы и искусства» (до 1280 г.) увеличительные зеркала: «Можно создать также такие инструменты, что дальние объекты представляются очень близкими. Также можно прочесть очень маленькие символы на невероятных расстояниях и пересчитать крошечные объекты. Именно так Цезарь с пляжей Галлии с помощью этих больших зеркал обнаружил расположение и размещение лагерей и городов жителей маленькой Британии».

Таким образом, последнее упоминание относится не к дельте Нила, а к северному побережью Галлии. Зеркало оказывается направленным не на византийские корабли и не на Константинополь или Кипр, а на британские



Рис. 28.3–28.4
Старинные монеты



Рис. 28.5
Фрагмент старинной рукописи

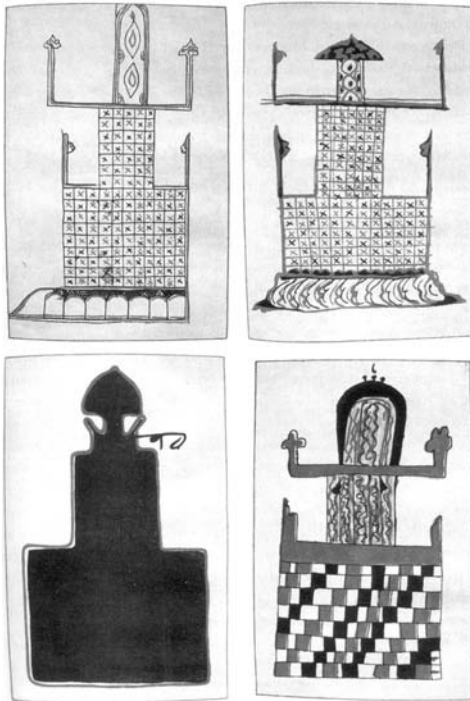


Рис. 28.6
Фрагменты старинной рукописи

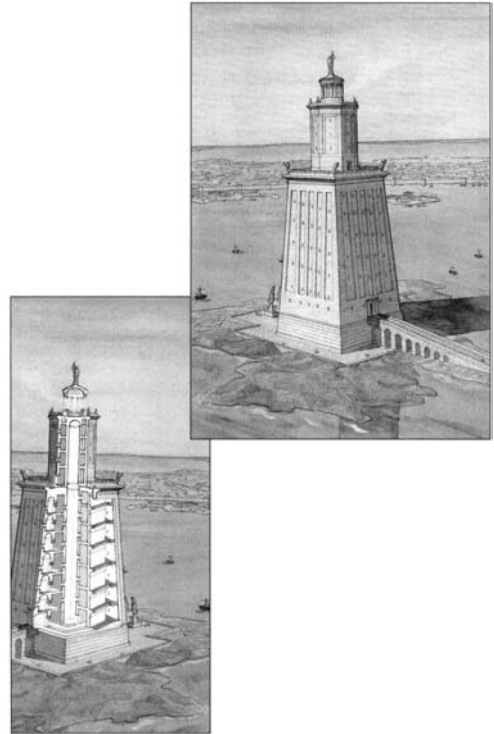


Рис. 28.7
Реконструкции
средневековых изображений

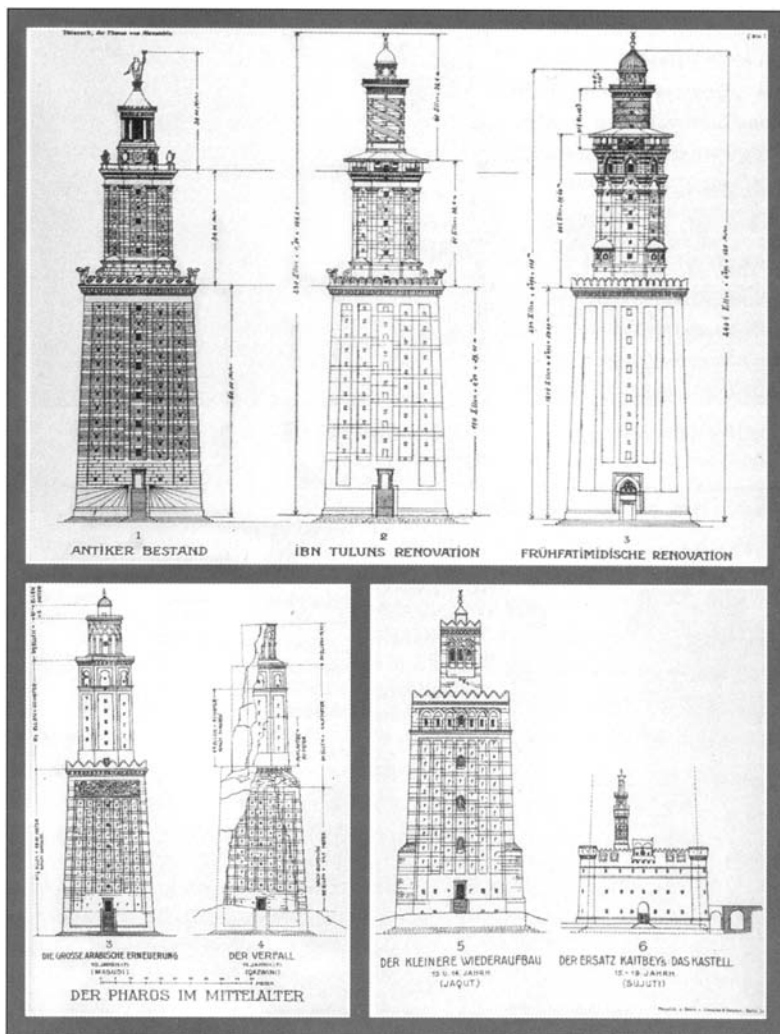


Рис. 28.8
Реконструкции средневековых изображений

города и войска, однако инструмент по-прежнему тот же. Впрочем, имя Цезаря было непосредственно связано с Фаросским маяком. Он сам рассказывал, что, приближаясь со своим флотом к Александрии, сначала причалил к маяку. И нельзя исключать, что Клеопатра лично открыла ему секрет последнего.

28.2. СРЕДНЕВЕКОВЫЙ ТЕЛЕСКОП

Возможность существования телескопа в Средние века обсуждается в истории оптики в связи с их имеющимися изображениями в источниках этого периода, что вызывает необходимость проведения тщательного анализа. Некоторые косвенные свидетельства относят появление телескопа даже к более

раннему времени. Так, например, спутники Юпитера и кольца Сатурна, не видимые невооруженным глазом, были якобы известны древним астрономам Греции и Китая. Племенам догонов из Западной Африки предположительно было известно о существовании белого карлика Сириуса *B*, находящегося вблизи Сириуса *A* и также не наблюдаемого без оптического увеличения. В связи с этим появилась гипотеза, что древним был известен телескоп, но сведения о нем оказались утрачены.

Основания для такого предположения имеются. Известно, что древние мастера изготавливали линзы различного профиля из кристаллического кварца. Комбинация плосковыпуклых и плосковогнутых линз, представляющая простейшую схему телескопа, могла быть случайно найдена в прошлом.

Большой интерес представляет фрагмент разбитого сосуда, найденный в Афинах во время раскопок 1955–1960 гг., которые проводились на месте храма (или алтаря) Нимф на южной стороне Акрополя. Фрагмент, выставленный в музее Парфенона, датируется 425–420 гг. до н. э. На нем нанесено изображение нимфы (музы астрономии?), внимательно смотрящей в «телескопический» инструмент, состоящий из нескольких частей (рис. 28.9). Ближе к глазу труба более тонкая с маленьким сечением, а к противоположному концу она расширяется. В музейной коллекции этот артефакт отнесен к разделу изображений античных музыкантов и трактуется как подготовка флейтистки к игре. В то же время некоторые историки науки [385] полагают, что нимфа изображена ведущей наблюдения с помощью телескопа. С нашей точки зрения, на осколке сосуда изображен полый безлинзовый диоптр, определяющий направление визирования. «Музыкальная» версия сомнительна с точки зрения изображения как инструмента — флейты на краснофигурных вазах обычно изображались иначе, — так и действий музыканта: известно большое число изображений людей, играющих на флейтах, но ни одного, держащего инструмент перед глазами. В то же время изображения людей, смотрящих сквозь трубку на небо, были известны не только в Античности, но и в Средние века.

Сохранились иллюстрации, свидетельствующие о применении в Средние века безлинзовых трубок, или диоптров.

В отличие от современной терминологии, которая подразумевает под диоптрикой науку о преломлениях, в то время диоптрией называлась трубка, через которую смотрели (*диоптра* — дословно с греческого «вижу сквозь»). Основным эффектом применения диоптров заключается в усилении видимости ночных звезд при их рассмотрении в трубку. Доказана возможность рассмотрения звезд восьмой звездной величины ночью через четвертьдюймовую трубку. Заметим, что предел видения невооруженным глазом — звезды шестой



Рис. 28.9
Фрагмент декоративного
греческого лутрофора

величины, которые ярче звезд восьмой величины более чем в семь раз. При достаточно узких трубках, применявшихся, судя по сохранившимся изображениям, этот эффект мог удваиваться.



Древним был хорошо известен принцип увеличения остроты видения путем ограничения поля зрения. Ничего не зная о законах дифракции света, они, тем не менее, активно использовали их. Применение полых трубок аналогично разглядыванию звезд из глубоких колодцев или щелей при дневном свете. Такого рода опыты на протяжении веков проделывали не только на Ближнем Востоке и в Европе, но и в Америке: астрономы майя и инков использовали специально вырытые наклонные туннели для дневных наблюдений звезд и планет в заранее рассчитанных позициях [75]. В Китае, Индии, Центральной и Южной Америке сохранились многочисленные пирамидальные сооружения с узкой апертурой для визирования неба. Широко известен анекдот Платона про Фалеса, который, случайно упав в колодец, не хотел оттуда вылезать, так как увлекся наблюдением за звездами.

Истоки диоптров (начиная с вавилонян) и их обозначения в манускриптах прослеживаются в специальной работе Роберта Эйслера, посвященной этому вопросу [176]. Изображение ученого-наблюдателя с трубкой, направленной на небо, было стандартным и для греческих астрономов, и для индийских ученых (рис. 28.10), и для средневековых астрологов (рис. 28.11).

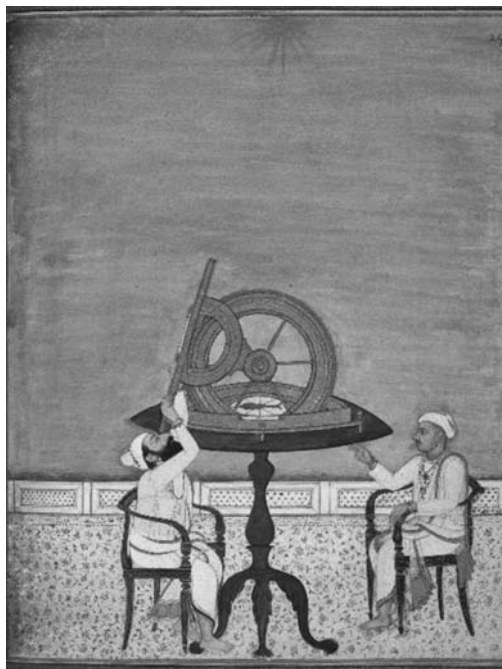


Рис. 28.10
Два индийских астронома смотрят на звезды в телескоп XVII в. (Британская библиотека, Лондон, Великобритания)



Рис. 28.11
Использование визирной трубы средневековым астрономом (X в.)

Загадке средневекового телескопа был посвящен фундаментальный труд Лючио Руссо. Как он утверждает, в период Средневековья по этому вопросу сложилась противоречивая картина: оказалось, что люди античного мира изготавливали линзы, «но не знали, что с ними делать, и использовали их как украшения, тогда как их ученые последователи... жившие на века позже, знали множество применений линзам, но не могли не только их изготовить, но даже их не видели воочию. При этом некоторые средневековые рукописи изображают астрономов, смотрящих в небо через длинные трубы» [316]. Вопрос заключается в том, были эти трубы полыми или содержали внутри себя линзоподобные элементы.

В качестве одного из доказательств Руссо приводит изображение триптиха 1247 г. (рис. 28.12). В левой части некто, названный Птолемеем, смотрит в небо, держа в руке тонкую и длинную трубу. Античный астроном Клавдий Птолемей, используя инструмент, похожий на телескоп, очевидно, ведет наблюдения за небом и звездами. Причем речь, по мнению некоторых историков, идет не о полой трубе, а об оптическом приборе [385]. Почти всем великим оптикам древности — Евклиду, Архимеду, Птолемею — приписывали применение телескопа. В связи с упомянутым Руссо триптихом мы можем рассмотреть еще одно средневековое изображение, воспроизведенное на рисунке 28.13. Великий Архимед изображен с «телескопической» трубой и небесным глобусом.

Существует, однако, и более раннее изображение, чем то, на которое ссылается Руссо. Речь идет о миниатюре (рис. 28.14) из труда Магистра Петруса «Схоластика и История» (1241). Изображение представляет собой зрелого мужчину, наблюдающего за небом с помощью инструмента, идентичного телескопу. Как поза, так и одеяния изображенного человека дают основание сравнивать его с Птолемеем, изображенным на триптихе. Можно предположить, что это более раннее изображение, ставшее прототипом для триптиха 1247 г.

Еще одно средневековое изображение «телескопа» (1341) приведено на рисунке 28.15. На нем в аллегорической форме изображены Евклид и Птолемей. Евклид держит армиллярную сферу и диоптрийную трубку, а Птолемей — астрорябию.

Даже если считать случайностью схожесть античных и средневековых изображений, насколько близко мы находимся от доказательства факта существования телескопов в древности? Мы не располагаем достоверными письменными источниками, и потому следует опираться на более поздние свидетельства. Начиная с работ Гроссетеста, постоянно муссировалась идея использования преломления при производстве увеличивающих приспособлений. Гроссетест, в частности, перечисляет их следующим образом: «Первый раздел [оптики] лежит в сфере науки зрительной, второй раздел [катоптрика] относится к зеркалам. Третий раздел [диоптрика] оставался нетронутым и неизвестным нам... Действительно, этот раздел оптики, если мы досконально его изучим, даст нам возможность видеть предметы, расположенные далеко, так, будто бы они совсем близко, большие предметы, расположенные рядом, будут казаться маленькими, а маленькие предметы мы сможем приближать насколько захотим».



Рис. 28.12

Изображение триптиха на средневековом манускрипте, датированном 1247 г. [385]:

слева — наблюдатель, обозначенный как «Птолемей», наблюдает небеса. Сходство с аналогичными иллюстрациями удивительно. Традиция изображения и копирования «телескопов», похоже, существовала уже в Средние века.



Рис. 28.14

Наблюдение небес с помощью инструмента, похожего на телескоп (миниатюра из «Scolastica Historia» Магистра Петруса, изданного в Мюнхене в 1241 г.) [385]



Рис. 28.13

Марка с изображением Архимеда со зрительной трубкой — произведение английской компании по изготовлению оптических и механических приборов, в том числе по средневековым образцам, т. е. созданных задолго до изготовления первого телескопа [385]

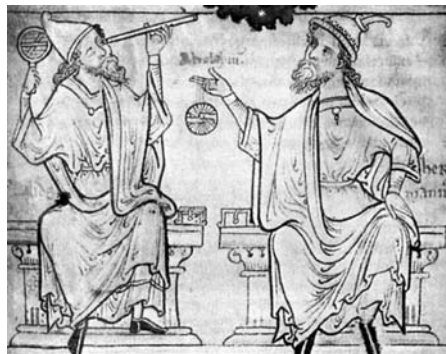


Рис. 28.15

Иллюстрация в рамках традиции изображения древних телескопов (средневековый манускрипт 1341 г.) Изображены Евклид с трубкой (телескопом?) и Птолемей с астролябией [385]

В контексте цитаты Гроссетеста Руссо отмечает: «...источник, о котором сообщает Гроссетест, приписывая эти слова Аристотелю... использует термин на греческом языке, чтобы обозначить исследование эффекта преломления. Этот термин, если он был знаком в Оксфорде XIII в., вероятно, был передан последующим поколениям. Термин „диоптрии“, который используется современными исследователями, дается в написании на греческом языке (διτρκη) и в работах Кеплера 1611 г. Данный факт, в сочетании с этимологией термина, соответствующей явлению прохождения луча света через прозрачный предмет, является свидетельством того, что сам термин взят из древних источников» [316].

В трудах Роджера Бэкона, написанных за 700 лет до изобретения телескопа, мы читаем: «Расскажу о дивных делах природы, в которых нет ничего магического... Прозрачные тела могут быть так обработаны, что отдаленные предметы покажутся приближенными... так, что на невероятном расстоянии будем различать мельчайшие вещи, а также будем в состоянии усматривать звезды, как пожелаем». По сведениям Бэкона, некое приближающее устройство было известно уже Юлию Цезарю, с его помощью выбиравшему из Галлии перед набегом на Британию место для вторжения. Имел ли он в виду линзовую или зеркальную систему, из его описания понять трудно.

Руссо так трактует позицию Бэкона: «Давайте представим, что Бэкон в пятой книге „Opus majus“ восторженно высказывается о способности „древних“ увеличивать мелкие предметы и приближать отдаленные, используя соответствующие сочетания линз и зеркал, несмотря на то что он сам не мог предложить достойное объяснение даже для одной линзы» [316].

Действительно, у Бэкона встречаются высказывания, косвенно свидетельствующие о его знакомстве со зрительной трубой: «Увеличивая зрительный угол, мы будем в состоянии читать мельчайшие буквы с огромных расстояний и считать песчинки на земле, так как видимая величина обуславливается не расстоянием, а зрительным углом. Мальчик может казаться великаном, а взрослый — горой».



Некоторые исследователи полагают, что Бэкон сделал научные открытия величайшей важности, среди них — телескоп и микроскоп. Из предосторожности он должен был держать свои открытия в тайне. Этому способствовали и его религиозные убеждения: он во всем видел руку Господа. То, что секреты природы были до тех пор столь долго сокрыты, являлось для него свидетельством того, что Господь желает сохранить их в тайне. Следовательно, тот ученый, которому удалось приподнять краешек занавеса, был допущен самим Господом к его тайнам и потому должен находить своему знанию такое применение, которое бы одобрил Всевышний. Особенно ему следовало быть осторожным, чтобы не передать его простонародью. Ведь сам Бог внушал ученым мужам, когда они писали о своих открытиях, чтобы они скрывали их либо посредством тайного языка, каким пользовались философы, либо особенными техническими терминами, которыми пользовались алхимики, либо шифром.

По общепринятому мнению, двухлинзовая зрительная труба была изобретена голландскими мастерами в конце XVI — начале XVII в. и впервые применена в качестве телескопа в 1610 г. Галилеем. Именно к этому времени созрели условия для создания комбинации положительной и отрицательной

очковых линз приемлемого качества. Создание такой системы до развития очкового ремесла представляется маловероятным. Что же тогда означают многочисленные античные и средневековые изображения людей с трубками у глаз? По нашему мнению, это были визирные инструменты, построенные по простой схеме безлинзового диоптра. Он представлял собой трубку или систему соосных отверстий, снабженную волосяными, нитяными или проволочными перекрестиями. Но все-таки хочется верить, что кто-то из гениев древности создал оптическую систему, которая ныне именуется телескопом (рис. 28.16).



Рис. 28.16
Иллюстрация в рамках традиции изображения древних телескопов (миниатюра из изданного в Оксфорде латинского перевода «Элементов» Евклида) [226]

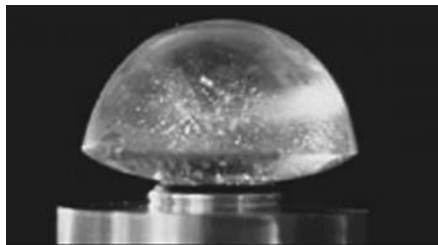
28.3. ЛИНЗЫ ВИСБИ

В конце XX в. Карл-Хейнц Уилмс, в прошлом научный сотрудник фирмы «Роденсток», изучая оптические экспонаты мюнхенского Музея науки и техники, сделал сенсационное открытие. Он обнаружил изображение асферической линзы, изготовленной из кристаллического кварца в Средние века [331]. Находка вызвала большой интерес специалистов, поскольку в ту эпоху только началось изучение преломляющих свойств оптических материалов. Возникло даже предположение, что в Средневековье существовала высокоразвитая оптика, которую мы «просмотрели». Исследователи с повышенным вниманием обратились к изучению археологического наследия, относящегося к древним линзам. Было установлено, что в Скандинавии было найдено более сотни кристаллических линз, датируемых XI в. [113]. Первая из них, двояковыпуклая линза из горного хрусталя диаметром 50 мм, была обнаружена в 1877 г., однако серьезные исследования всех образцов были проведены лишь столетие спустя.

До 1931 г. считалось, что все древние шведские линзы из горного хрусталя были найдены на острове Готланд. Так, в археологическом музее Висби (главного города острова) хранится 21 кристаллическая линза. Однако в 1932 г. шведский археолог Мартин Штенбергер раскопал небольшую линзу в крепости Экеторп на острове Эланд. Позже там были найдены еще 17 линз. Некоторые из них были настолько малого размера, что для их описания в номенклатуру находок внесли специальный термин — «овальные камни». Наименьшая из линз по одной оси имела длину 7,8 мм, а по другой — 5,4 мм. Линзы давали 3-кратное увеличение при толщине около 1 см. В 1988 г. были раскопаны 14 линз в Сигтуне. В основном они имели увеличение 1,2×, хотя были экземпляры с увеличением 1,5×.

Помимо находок в Швеции, несколько линз обнаружены в Финляндии, Эстонии, Латвии, Литве и Дании [351]. Археологи нашли не только двояковыпуклые линзы (рис. 28.17а, б), но и сферические изделия из кристаллического кварца с высоким качеством обработки поверхности (см. цв. вкл., ил. 54, рис. 28.18). Такими магическими полшариями украшали переплеты

а



б

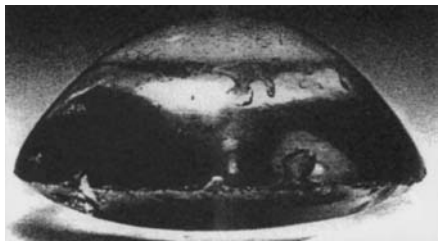


Рис. 28.17
Двоковыпуклые линзы
из горного хрусталя,
найденная на о. Готланде [345]:

а — «полусферическая»; б — «гиперболическая».



Рис. 28.18

Одна из обрамленных в серебро линз
Висби из горного хрусталя.
Благодаря асферической поверхности
обладает уменьшенной дисторсией [352]

а



б



Рис. 28.19

◀ Застежка одеяния священнослужителя
высокого ранга с изображением святого
Франциска Ассизского
(Сиена, середина XIV в.).
В центре — линзы горного хрусталя.
Линза в данном случае используется
как увеличительное стекло,
позволяя рассмотреть миниатюру.
Музей Метрополитен, Нью-Йорк

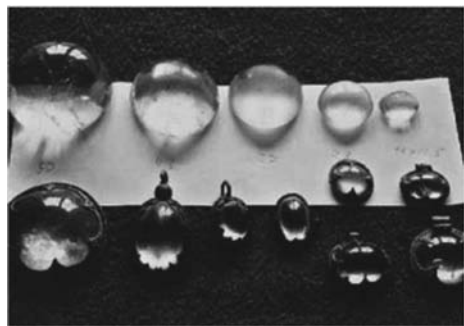


Рис. 28.20

Часть коллекции линз Висби
(в серебряных оправках и без них),
которая исследовалась
на предмет изучения создаваемых ими
аббераций [331]

книг, утварь, их использовали для защиты от глаза и в качестве украшений (рис. 28.19а, б).

Найденные образцы разделялись на две группы: обрамленные в оправу и без нее (рис. 28.20). Линзы первой группы явно использовались в качестве ювелирных украшений [356]. Они имели серебряную оправу высокой художественной работы, изготовленную, судя по всему, значительно позже самих линз. Штенбергер считал, что стиль изготовления оправы характерен для местных ювелиров того времени [349]. Линзы без оправы не носили следов использования в качестве украшений. Часть из них имела идеальную асферическую форму и высокое оптическое качество [352]. То, что не все линзы подвергались обработке высокого качества, возможно, объясняется их различным назначением.

Происхождение линз неизвестно, хотя есть предположения, что они были привезены с Востока. В те времена основные месторождения горного хрусталя находились в Афганистане, а его обработка производилась в Индии. Десять линз из раскопок поселений древних викингов XI–XII вв. на западном побережье Готланда получили по месту находки название *линз Висби*. Самые крупные из них имели диаметр 27, 37, 43 и 50 мм и толщину до 30 мм.



Обнаруженные линзы относились к найденному кладу, датированному XI–XII вв. Часть из них можно увидеть в Музее Готланда, часть экспонируется в других музеях, часть оказалось потеряна. Большие линзы давали изображения высокого качества, что использовали мастера при их украшении серебряными пластинками. Серебряная огранка задней стенки хорошо отполированного хрустального украшения не только эффективно отражала падающий свет, но и создавала в нем интересный эффект: каждая из этих подвесок давала четкое изображение объекта, находящегося перед ней. Вероятно, это сообщало украшениям сакральный магический смысл. Сотрудники музея не имели возможности изучать оптические характеристики линз, однако их асферический профиль был описан [113].

Эти археологические находки долгое время оставались предметом изучения только археологов, пока не попали в руки оптиков, которым задали настоящую загадку. Карл-Хейнц Уилмс обнаружил высокое оптическое качество древних линз из кристаллического кварца и привлек к их изучению оптиков-офтальмологов. Они тщательно исследовали линзы из мюнхенского музея, а также экспонаты из музея в Висби. Высокая симметрия изделий свидетельствует об использовании вращающегося станка, причем на вершине все они имели идентичную кривизну, т. е. были изготовлены по единой технологии. Проецируя профиль линз с большим увеличением на экран, специалисты выявили его совершенную эллипсоидную форму [345]. Оптическое качество этих линз соответствовало качеству современных. Особенно удивительна асферическая форма профиля, если учесть, что они были сделаны примерно тысячелетие тому назад, когда только начиналось изучение законов преломления света в кристаллах. Похоже, древние мастера сумели оптимизировать профиль линз задолго до того, как были развиты математические методы определения формы линз с корректировкой их аберраций. По этому параметру они превосходят исследованные ранее архаичные линзы [200].



Способы обработки горного хрусталя в XI в. были уже хорошо известны. Оправленные камни из горного хрусталя неожиданно появились на Готланде в конце XI в. и так же неожиданно исчезли. Остается неясным, почему Готланд стал центром торговли этими линзами и снабжался наиболее качественными образцами. Существует предположение, что все образцы пришли либо через торговцев, либо как военные трофеи. В XI в. викинги торговали со всем миром. Оживленный обмен товарами происходил с Востоком и Юго-Востоком. Это дает основание предположить, что местом происхождения линз является Персия или юго-восток России. По-видимому, там линзы и были украшены серебряной оправой. Они также могли быть привезены в качестве трофея из похода на Восток воинами варяжской дружины, служившими в Византии.

Качество изображений, даваемых различными линзами, было различным. Большие линзы могли использоваться как лупы. Поскольку в то время еще не был развит необходимый математический аппарат для расчета преломляющих поверхностей, необходимый профиль линз создавался методом проб и ошибок. С другой стороны, оптическое качество ряда линз было низким.

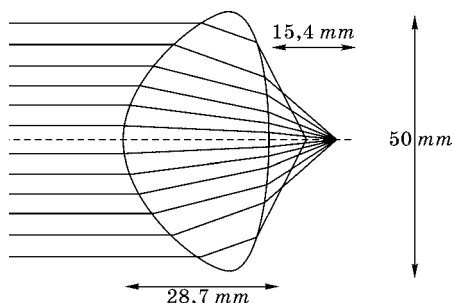


Рис. 28.21
Геометрические параметры линзы

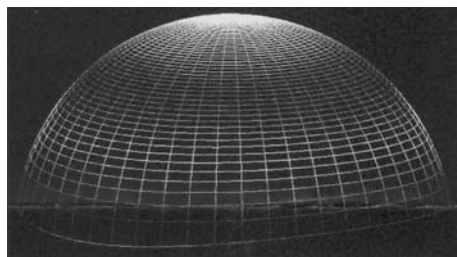


Рис. 28.22
Трехмерное изображение профиля поверхности линзы



Рис. 28.23
Химик с помощью линзы направляет солнечный луч на кусок сурьмы для того, чтобы его окислить (ил. из книги «Курс химии» Н. Лемери, 1675)

Это свидетельствует о том, что профиль линз определялся интуицией ремесленника и изготовление качественных линз могло носить случайный характер. Безаберрационные изображения, создаваемые отдельными линзами, позволяют предположить, что их изготовители намного опередили свое время. Возможно, что полученные эмпирические знания были утрачены до той поры, пока Декарт не дал расчета идеальных преломляющих поверхностей. Однако даже он не имел инструментов для изготовления асферических линз, которые не производились вплоть до 1950-х гг.

Геометрические параметры одной из линз приведены на рисунке 28.21, а трехмерное изображение профиля поверхности по результатам исследований показано на рисунке 28.22. На иллюстрации 55 (см. цв. вкл.) для сравнения показано изображение узора типа шахматной доски, создаваемое сферической линзой (слева) и асферической линзой (справа). Отчетливо видны искажения прямоугольных квадратов по полю изображения, наблюдаемые с помощью сферической линзы, и отсутствие подобных искажений при использовании асферической линзы.

Некоторые исследователи полагают, что найденные на Готланде линзы предназначались для прижигания ран, разжигания огня (рис. 28.23) и служили увеличительными стеклами резчикам камней. Однако ключ к разгадке высокого качества и асферической формы не найден, и сама тайна линз Висби до сих пор остается нераскрытой.

28.4. СОЛНЕЧНЫЙ КАМЕНЬ ВИКИНГОВ

Богатство умирает, близкие умирают,
Крупный рогатый скот умирает и пшеницы тоже.
Но никогда не умирает слово чести,
Слово-слава никогда не умирает.

Из поэтического наследия викингов

Среди легенд, связанных с викингами — участниками морских торгово-грабительских и завоевательных походов в конце VIII — середине XI в. в страны Европы, — особого внимания заслуживают описания их плаваний по северным морям. На рисунке 28.24 и иллюстрации 56 (см. цв. вкл.) приведены изображения на рунных камнях древних лодок с гребцами, над которыми виден солярный знак. Расположение светил позволяло в те далекие времена ориентироваться в пространстве и во времени.

В процессе заселения Исландии, колонизации Гренландии и плаваний к лопарям и саамам викинги проявили себя бесстрашными и искусными мореплавателями (рис. 28.25). Во время длительных экспедиций в открытом море вдали от берегов они каким-то образом правильно прокладывали маршруты даже в туман



Рис. 28.24
Рунный камень



Рис. 28.25
Датские воины на пути в Англию
(миниатюра XII в.,
библиотека П. Моргана, Нью-Йорк)

методами, например определение длины полуденной тени или высоты Полярной звезды над горизонтом (за единицу измерения бралась длина руки, ладони, большого пальца), позволяли корректировать курс по широте, что и требовалось в основном при плавании на запад. Если морякам, попавшим в шторм, удавалось вернуться на нужную широту и избрать правильное направление, они рано или поздно добирались до цели. Плыть по широте было не слишком сложно, и, вероятно, именно поэтому в сагах, записанных в XIII в., морские странствия выглядят вполне будничным и не слишком опасным занятием. Другое дело, если плавание проходило в тумане или в условиях облачности.

В исландских сагах, сложенных около 1300 г., упоминается необычное навигационное устройство, называемое *solsten* или *sólarsteinn* — *солнечный камень*, позволяющий определять местонахождение Солнца даже в пасмурную погоду. Для этого камень якобы опускали в воду, в которой он плавал и, попадая в лучи Солнца, светился. Свечение — вероятно, выдумка сказителя саги. Некоторые историки полагают, что солнечный камень представлял собой дощечку с укрепленным на ней магнитным камнем (магнитным железняком) [23].

Возможно, викинги уже использовали и компас, который в Китае был к этому времени известен как указатель направления.

В одной из саг повествуется о плавании короля Олафа Святого и предводителя Сигурда на корабле. «Король спросил его, знает ли тот, где находится

и непогоду, не имея возможности ориентироваться непосредственно по звездам или светилам [8].

Историкам неизвестно, были ли викинги знакомы с компасом. Скорее всего викинги находили направление по Солнцу. Особое значение для них имели направления восхода и захода. Как гласит одна сага, о положении Солнца в течение года «хорошо знали Стъёрн (Звездный) Одди с острова Флатей и от него старшие на судах, или кендтманды (знающие)» [84]. В других источниках упоминается об исландце Одди Звездочете, который жил в конце X в. и в течение года еженедельно отмечал в таблице полуденное склонение Солнца. Вырезав зарубки на шесте в соответствии с этими сведениями и взяв шест с собой, мореплаватель мог в любой момент определить, находится ли он сейчас южнее или севернее места, где производились наблюдения.

Навигационные наблюдения, пусть даже выполненные самыми грубыми

Солнце на небе, поскольку было облачно. Сигурд ответил, что знает, и указал направление. Тогда король поднял свой солнечный камень вверх и определил, откуда льется свет. Он подтвердил, что Солнце находилось действительно там, куда указал Сигурд» [365]. Описанные в этих сагах личности — не вымышленные герои. Король Олаф умер в 1029 г. и был канонизирован после смерти, а предводитель Сигурд также является реальным историческим лицом.

Однако историки скептически относились к этим легендам и к достоверности существования и использования викингами солнечного камня. В приведенном отрывке из саги, по-видимому, впервые упомянут прозрачный исландский шпат — минерал, бесцветная и прозрачная разновидность кальцита (CaCO_3), вызывающий раздвоение изображений вследствие высокого двулучепреломления. Скептицизм историков понятен: только в 1669 г. датский ученый Эразм Бартолин опубликовал свои «Опыты с дважды преломляющим исландским кристаллом, которые привели к открытию удивительного и необыкновенного преломления».

«Из Исландии, острова Северного моря, расположенного на широте 66° , привозят особого рода кристалл, или прозрачный камень, который весьма замечателен своей формой и другими свойствами, но главным образом своим странным преломлением света», — писал два десятилетия спустя об исландском кристалле Христиан Гюйгенс. Он впервые указал на поперечную анизотропию светового луча (поляризацию света). Этим же свойством обладали кристаллический кварц SiO_2 и фтористый магний MgF_2 , издавна добывавшиеся в Норвегии. В самой Швеции встречаются кристаллы кордерита и иолита, которым также присущ этот эффект. Возможно, что викинги использовали и кристаллы турмалина, обладающие способностью селективно поглощать лучи определенной поляризации.

Существуют различные и противоречивые описания возможных способов использования викингами солнечного камня в навигации. В одних источниках сообщается, что солнечный камень изменял свой цвет, если сквозь него смотрели на Солнце даже в пасмурную погоду. По другим источникам, при наблюдении за небосводом перпендикулярно направлению на Солнце в кристалле возникает темная полоса. В 1967 г. датский археолог Торкильд Рамскоу предположил, что в древних текстах речь шла о прозрачных минералах, поляризующих проходящий через них свет [298]. Однако единого мнения принципа использования солнечного камня нет до сих пор.

Истину следует искать в особенностях поляризации света небосвода, вызываемого молекулярным рассеянием и изучаемого атмосферной оптикой. Исследования ученых показали, что степень поляризации голубого неба в разных точках небосвода изменяется от 0 до 80%. На восходе и закате, когда Солнце находится вблизи горизонта, наибольшая степень поляризации небосвода будет на большом круге, плоскость которого проходит через зенит и перпендикулярна направлению на Солнце (рис. 28.26). Наименьшая поляризация будет соответствовать направлению на Солнце.

График азимутального распределения степени поляризации по большому кругу небосвода, проходящего через зенит и Солнце, показан на рисунке 28.27.

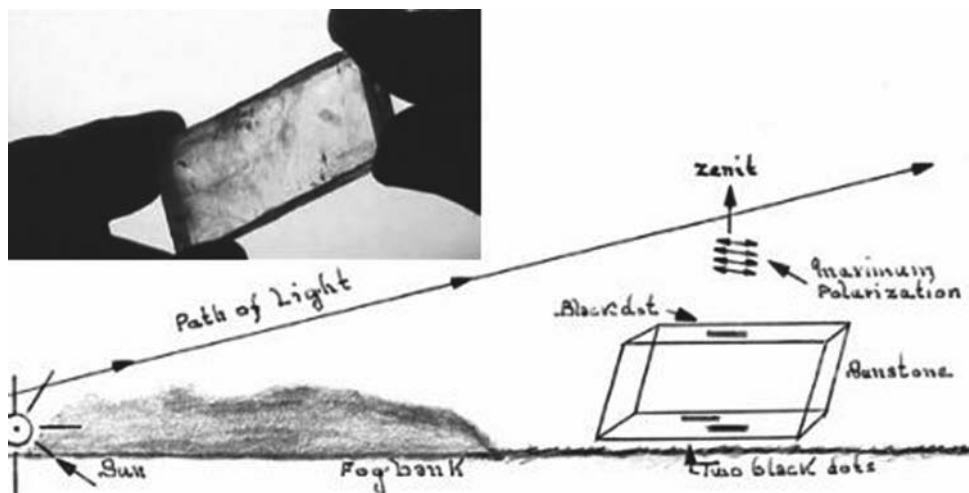


Рис. 28.26

Техника использования поляризующих свойств кристалла исландского шпата для ориентации в пространстве [298]

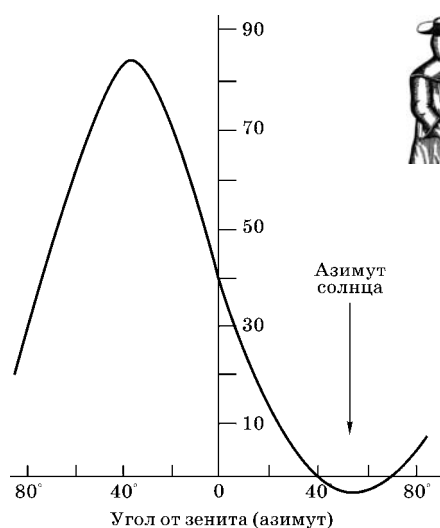


Рис. 28.27

За положительную принимают поляризацию с горизонтальным преимущественным направлением колебаний электрического вектора рассеянного света. Максимум поляризации соответствует примерно углу 90° от Солнца. Вблизи направления на Солнце поляризация дважды меняет свой знак, проходя через нулевые значения (нейтральные точки). Выше Солнца расположена нейтральная точка Бабине, а ниже него — точка Брюстера. В направлении прямо на Солнце поляризация мала и имеет другой знак — преимущественное направление колебаний вертикально. Поляризация света, рассеянного облаками, всегда много меньше, чем рассеянного ясным небом. Если наблюдать небесный свод в условиях тумана или облачности через образец исландского шпата, то можно обнаружить разные условия прохождения света через образец.

Если образец исландского шпата ориентирован в направлении, где нет Солнца, то к наблюдателю будет приходиться частично поляризованный свет. Тогда при повороте исландского шпата относительно оси наблюдения интенсивность проходящего света будет изменяться. Использование турмалина при таких наблюдениях не предполагает вращения кристалла. Тогда вертикаль, отмечающая положение Солнца ниже горизонта, оказывается более темной независимо от ориентации турмалина.

Если же образец исландского шпата направлен на Солнце, то его почти неполяризованные лучи при любом положении образца не будут изменять интенсивности проходящего света. Сканируя небосвод с помощью солнечного камня, древние викинги могли определять направление, где интенсивность света оставалась постоянной при его вращении, определяя этим даже через облака положение Солнца. Пользуясь таким примитивным, но эффективным оптическим устройством для навигации, викинги могли достигать берегов Америки и других северных земель [84].

В наши дни группа венгерских исследователей под руководством Рамона Хегедюса на ледоходе «Один» отправилась в Северный Ледовитый океан, где на опытах подтвердила, что с помощью ряда кристаллов можно определять направление на Солнце в туманный или облачный день. Аналогичные результаты получила группа Габора Хорвата из университета Отвоса в Будапеште. Ученые также установили, что условия поляризации излучения от неба изменяются по мере подъема Солнца над горизонтом. Это означает, что поляризационный метод навигации более выгоден в высоких широтах, где и оттачивали свое мастерство викинги. Выяснилось, что, выравнивая интенсивность так называемых обыкновенного и необыкновенного пучков, прошедших сквозь кристалл, можно узнать направление на Солнце с погрешностью в несколько градусов.

Косвенным признаком своей правоты авторы исследования называют пример если не из истории викингов, то, во всяком случае, из довольно давнего прошлого. На борту судна, затонувшего у острова Олдерни в конце XVI в., археологи нашли кусочек исландского шпата. Может быть, он тоже служил для целей навигации.



На свойствах исландского шпата основано действие небесного сумеречного компаса Колльсмана, который до недавнего времени использовался на военных и гражданских самолетах, совершающих полеты в полярных широтах. При полетах около Северного полюса возникают неудобства в пользовании магнитными компасами, и тогда в современных устройствах навигации применяют небесный компас, содержащий исландский шпат как основной элемент системы (рис. 28.28). Такой поляризационный компас применяют в дневное время в случаях, когда невозможно прямое наблюдение Солнца при несплошной облачности или при положении Солнца за горизонтом (незадолго перед восходом или после заката). Поскольку распределение поляризации по небосводу однозначно для данного времени дня, находя направление преимущественных колебаний в некоторой точке (например, в зените), можно определить истинное направление на север. Точность прибора порядка 2° .

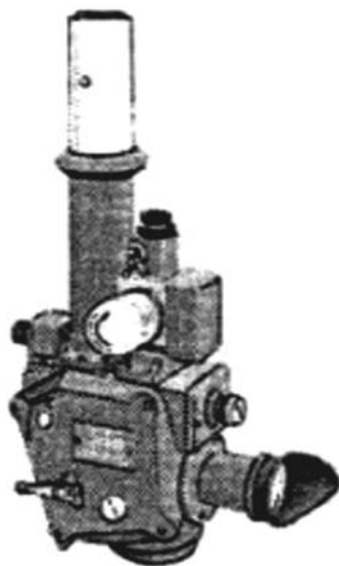


Рис. 28.28
Поляризационный компас

Таким образом, на уровне современных теоретических и экспериментальных исследований в области оптики кристаллов и атмосферной оптики возможность использования викингами исландского шпата в качестве «солнечного камня», заменяющего компас, не кажется фантастической.

28.5. ТУРИНСКАЯ ПЛАЩАНИЦА

Плащаница — христианская реликвия, четырехметровое льняное полотно, в которое, по преданию, Иосиф из Аримафеи завернул тело Иисуса Христа после его крестных страданий и смерти (Мф. 27: 59–60). Часть верующих убеждена, что на Плащанице — подлинные отпечатки лика и тела Христа [243].

Первое появление реликвии зафиксировано во Франции около 1350 г. Граф Жеффруа де Шарни обратился к папе Клименту VI с просьбой «в ознаменование... избавления французов от только что закончившейся эпидемии чумы» построить в Лирее каменную церковь в честь святой Девы Марии и в благодарность Святой Троице и разместить в будущем храме имеющуюся в собственности дома де Шарни Плащаницу Иисуса Христа [26]. Вначале она была выставлена в городе Лирее во владениях де Шарни. В 1452 г. ее выкупил Людовик I Савойский и хранил в городе Шамбери. С 1578 г. и по сей день Плащаница хранится в специальном ковчеге в соборе Иоанна Крестителя в Турине [31].

Есть сведения, что Плащаница неоднократно горела или, во всяком случае, попадала в пожары в 1201, 1349, 1532, 1934 гг. На ней хорошо видны следы этих пожаров, в том числе даже следы капель расплавленного серебра, прожигающих ткань. Например, в 1532 г. Плащаница сильно пострадала при пожаре в соборе французского города Шамбери. Серебряный ковчег, где она хранилась, расплавился, помещение храма было сильно задымлено, и в этих условиях Плащаница находилась несколько часов.

Туринская плащаница представляет собой кусок древнего полотна чуть больше четырех метров в длину и метра в ширину. На этой ткани имеются два образа обнаженного мужского тела во весь рост, расположенные симметрично друг к другу, голова к голове. На одной половине — образ мужчины со сложенными впереди руками и ровно лежащими ногами; на другой половине — то же тело изображено со спины (рис. 28.29, см. цв. вкл., ил. 57). Образ на Плащанице не яркий, но достаточно детальный; он дан одним цветом —

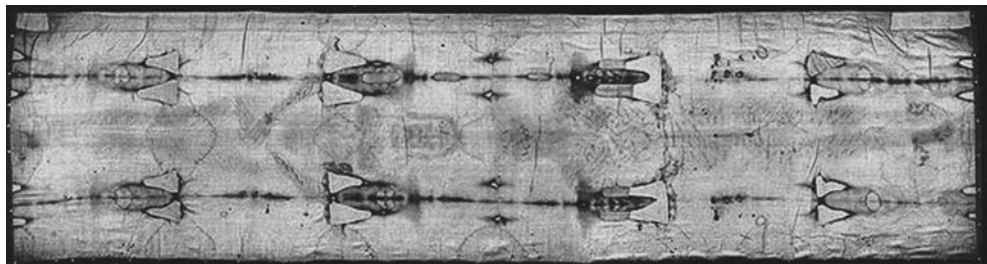


Рис. 28.29
Туринская плащаница. Собор св. Иоанна Крестителя, Турин

желтовато-коричневым, разной степени насыщенности. Невооруженным взглядом можно различить черты лица, бороду, волосы, губы, пальцы. По лбу и по длинным прядям волос сбегают как бы струйки крови. Кровоподтеки от ударов бичей покрывают всю грудь, спину и даже ноги. На запястьях и на ступнях видны следы, похожие на пятна застывшей крови, вытекшей из гвоздевых ран. В боку — большое пятно, возникшее, видимо, из-за глубокой раны, достигшей сердца.

Исследования показали, что изображение сформировано в тонком поверхностном слое толщиной порядка 10 мкм.

Считается, что образ на Туринской плащанице возник тогда, когда тело Иисуса Христа согласно евангельскому повествованию было положено в погребальную пещеру. При этом тело лежало на одной половине Плащаницы, а другая половина, перекинута через голову, покрывала его сверху.

Дискуссии относительно Туринской плащаницы в основном сосредоточены на проблеме ее подлинности. Оставив за скобками эти длящиеся столетиями споры [73], остановимся на вопросе о происхождении изображения и его природе, который наиболее актуален в контексте истории оптики.

В 1898 г., когда Плащаница была выставлена на обозрение, фотограф-любитель Секондо Пиа сделал снимки и обнаружил на негативах позитивное изображение лика. В своих воспоминаниях об этом событии он писал, что во время обработки полученных фотографий во мраке фотолаборатории он вдруг увидел, как на фотопластинке стал проявляться позитивный образ Иисуса Христа. Его волнению не было предела. Он всю ночь проверял и перепроверял сделанное открытие. Все обстояло именно так: на Туринской плащанице запечатлено негативное изображение предположительно Иисуса Христа, а позитивное можно получить, сделав негатив с Плащаницы.

Профессор Сорбонны Ив Делаж и его коллега Поль Виньон изучили снимки Плащаницы и охарактеризовали отпечатки как «анатомически совершенно точные». Они отождествили кровоподтеки, синяки и припухлости на изображении с травмами от игл тернового венца, от вбитых гвоздей и от ударов копыя и бича с тяжелым наконечником.



Во второй половине XX в. Ватикан разрешил проведение научных исследований Плащаницы с применением специальной аппаратуры. В 1969 г. одиннадцать ученых впервые были допущены непосредственно к ее изучению. Цели этого исследования в основном касались выяснения степени сохранности Туринской плащаницы и выработки предложений по ее дальнейшему хранению. Второе прямое научное исследование имело место в 1973 г. Впервые были взяты для изучения образцы в виде мельчайших ниточек и пылинок, которые оставались на липкой ленте после прикосновения к Плащанице.

Важным этапом в исследовании Плащаницы были работы Джона Джексона, преподавателя физики в Военно-воздушной академии США. Работая с моделью Туринской плащаницы, он с помощью специальных приборов экспериментально измерил на курсантах-добровольцах среднее расстояние, какое возникает между поверхностью тела и тканью, его покрывающей. Полученные данные он сравнил с изменением цвета на фотографиях Плащаницы и обнаружил, что потемнение Туринской плащаницы в каждой точке нахо-

дится в простой зависимости от расстояния до тела, которое она, видимо, когда-то покрывала. Джексон утверждал, что на Плащанице языком интенсивности цвета (потемнения) передается расстояние между тканью и телом. Поэтому говорить, что на Плащанице имеется негативное изображение, — это лишь первое приближение к истине [225].

Если образ на Плащанице формировался, когда она облекала собой тело, то при разворачивании ее в плоскость он должен был слегка исказиться, должна была возникнуть обратная перспектива. Такая обратная перспектива, по утверждениям Джексона, и была обнаружена на Туринской плащанице.

Энтузиазм Джексона способствовал созданию исследовательского проекта, который был осуществлен под его руководством в 1978 г. Международная группа из более чем тридцати ученых различных специальностей на протяжении пяти суток, или 120 часов, сменяя друг друга и используя самую совершенную технику, исследовала Плащаницу. Полученные ею данные до сих пор служат материалом для научного исследования ее загадочного феномена.

Научные исследования 1978 г. ставили перед собой три задачи:

- выяснить природу изображения;
- выяснить природу пятен крови;
- объяснить механизм возникновения изображения на Туринской плащанице.

Хотя исследования были прямыми, они все же были неразрушающими для ткани Плащаницы и сводились к ее изучению методами спектроскопии в широком диапазоне — от инфракрасного спектра до ультрафиолета. Также исследовалась флюоресценция Туринской плащаницы в рентгеновском спектре. Проводилось микронаблюдение и микрофотографирование Плащаницы. Делались различные фотографии в проходящих и отраженных лучах. Было проведено также фотографирование лика в поляризованном свете и последующее компьютерное сканирование снимка. Единственными объектами, взятыми из Плащаницы для химических анализов, были мельчайшие частицы, которые оставались на липкой ленте после ее прикосновения к ткани. После 120 часов экспериментов с применением рентгеновских и ультрафиолетовых лучей ученые пришли к выводу, что следы не были оставлены красками, пигментами или красителями и не имели искусственного происхождения.

Комплексное исследование Плащаницы провела в 2011 г. группа экспертов из Национального агентства новых технологий, энергетики и устойчивого экономического развития Италии под руководством профессора Паоло ди Лаццаро. Пытаясь определить физические и химические процессы, с помощью которых можно воспроизвести цвет, сходный с изображением на Плащанице, они пришли к выводу, что оттенок, структуру ткани и глубину отпечатков на материи можно воспроизвести только посредством чрезвычайно коротких вспышек ультрафиолетового излучения [166]. Исследователи утверждают, что изображение на ткани могло возникнуть в результате воздействия «какой-то формы электромагнитной энергии» (например, вспышки коротковолнового излучения). «Мы пока не делаем никаких выводов. Мы собираем вместе звенья удивительной и сложной научной головоломки», — сообщили они.



По словам профессора Лаццаро, «когда речь заходит о вспышке света, окрасившей кусок льна так, как окрашена Плащаница, то разговор невольно касается таких вопросов, как чудеса и Воскресение. Но нас как ученых интересовали только процессы, поддающиеся научной проверке. Мы надеемся, что результаты нашей работы лягут в основу философских и богословских дискуссий, но окончательные выводы предоставим сделать экспертам и, в конечном счете, каждому человеку, в зависимости от убеждений его совести». Хотя сами ученые воздерживаются от объяснения этого явления сверхъестественными причинами, полученные ими результаты приветствуются теми, кто верит, что отпечатки на Плащанице были чудесным образом оставлены в момент Воскресения Иисуса Христа.

Группа Лаццаро считает, что отпечатки на Плащанице не могли быть подделаны в период Средневековья, учитывая уровень развития техники на тот момент. «Двустороннее изображение избиваемого и распятого тела человека, едва различимое на льняной ткани Туринской плащаницы, имеет множество редких физических и химических характеристик, которые невозможно воспроизвести в лабораторных условиях», — такое заключение сделали эксперты. Однако еще в 2009 г. группа итальянских ученых из университета Павии под руководством Луиджи Гарлачелли заявила об удачном завершении экспериментов по реконструкции способа создания изображения на Плащанице. Для точности реконструкции использовались лишь материалы и методы, доступные в Средние века. В результате было получено нечеткое, полутонное полноразмерное изображение человеческой фигуры, схожее с тем, что имеется на Плащанице [191].

Таким образом, современная наука не может дать окончательный ответ о способе формирования образа на Туринской плащанице. Один из величайших предметов почитания христиан несет на себе отпечатки человека, но как они получены — неясно. Каждый год в Туринский собор стекаются миллионы паломников, чтобы посмотреть на эту реликвию, хранящуюся в специальном ящике с регулируемым температурным режимом. Ватикан официально не подтверждает и не опровергает подлинность Плащаницы, заявляя, что отпечаток на ней «служит постоянным напоминанием о Страстях Христовых». Такую же осторожную позицию занимает и Русская православная церковь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для всех, кто интересуется историей науки, и даже для профессионалов в этой области прикладная оптика Средневековья представляется темой достаточно узкой и специальной. В лучшем случае они укажут на изобретение очков как первого рефракционного приспособления и на совершенствование астрольбии как наилучшего визирного инструмента. Эти два великих достижения действительно выделяются на общем фоне технического прогресса, происходившего в течение тысячи лет между Античностью и Возрождением. Однако, по нашему мнению, они не являлись изолированными пиками озарения хитроумных ремесленников или гениальных ученых. Технологические успехи этого периода обусловили не только появление белого прозрачного очкового стекла, но и неповторимых шедевров многоцветного витражного искусства. Зеркальное производство сделало благодаря венецианским стекольщикам и алхимикам гигантский шаг от тусклых бронзовых дисков к великолепным зеркалам оптического качества. Даже наши сегодняшние бытовые зеркала — не что иное, как некоторое усовершенствование средневековой технологии.

Естественно, развитие прикладных аспектов оптического знания не шло поступательно. С ослаблением Римского государства искусство мастеров стекольного дела в Европе стало угасать. Единственным центром стеклоделия на протяжении веков оставался лишь Константинополь. Но постепенно в Италии, Галлии, Рейнской области, Бельгии и Англии создавалась база будущих производств. В прогрессе европейского стеклоделия огромную роль сыграли Крестовые походы. Крестоносцы принесли с Востока сведения о производстве стекла, и в XI–XII вв. это ремесло возродилось в Западной Европе. Стекольные мастерские были заняты изготовлением мозаичных смальт и цветного листового стекла для витражей, причем настолько удачно, что уже в XIII в. более передовые европейские технологии варки стекла в свою очередь были позаимствованы арабами.

Христианская церковь, некоторое время даже запрещавшая использование стеклянных кубков в ритуальных целях, в то же время поощряла применение стекла как материала для окон. Было создано нечто доселе невиданное — готика, летящая и лучезарная архитектура света. Стены храмов стали фактически оправами для многофигурных и многоцветных витражных картин. Именно готические храмы оказались основными потребителями цветного стекла, благодаря чему его изготовление достигло апогея.

Выдающийся вклад в развитие стеклоделия в Европе внесла Венеция. Не позднее 1224 г. там был основан первый стеклодувный цех. А уже в 1292 г. из-за угрозы пожаров и желания сохранить от конкурентов секрет изготовления стеклянных зеркал все стекольные заводы были переведены на небольшой соседний с Венецией остров Мурано, ставший знаменитым на весь мир. В середине XIV в. стеклодувы острова Мурано добились полной прозрачности и бесцветности стекла и стали использовать его для производства зеркал.

Средневековье стало временем больших технологических достижений в изготовлении зеркал. Именно в эту эпоху на смену бронзовым зеркалам при-

шли стеклянные. На это повлияли два обстоятельства: разработка венецианскими мастерами технологии изготовления прозрачного стекла оптического качества и открытие средневековыми алхимиками процесса амальгамирования. Заметив, что после некоторых манипуляций стеклянные колбы и пробирки изнутри покрываются устойчивой и несмываемой зеркальной пленкой, алхимики стали изучать этот эффект и тем самым заложили основы будущего мануфактурного производства зеркал. С 1240 г. на островах Венецианской лагуны стали изготавливать качественные выпуклые зеркала. Современную историю плоских зеркал отсчитывают с XIII в., когда их кустарную технологию освоили в Голландии. Так называемая катоптрическая революция не только породила большие и прекрасно отражающие зеркала, но и способствовала дальнейшему развитию оптической науки в эпоху Ренессанса.

Изобретение очков на рубеже XIII–XIV вв. явилось выдающейся вехой в области прикладной оптики. Очки стали логическим продолжением истории хрустальных сегментов, которые были распространены еще в раннем Средневековье под названием читальных камней. Была освоена методика подбора радиусов кривизны для обеих поверхностей стекла — и появились *линзы*. В венецианских официальных документах, регулирующих правила стеклоделия, их тогда называли «кружками для глаз». Важно отметить принципиальную разницу: если читальные камни были интегрированы с наблюдаемым объектом для увеличения его изображения, то очки были интегрированы с глазом для компенсации дефектов зрения, в первую очередь старческой дальнозоркости. Это различие четко разделяет в истории оптики период развития увеличительных линз и период изобретения и усовершенствования очков. Изготовление в начале XV в. первых вогнутых линз для близорукых явилось следующим значительным достижением прикладной оптики.

Создание и совершенствование визирных оптических инструментов Средневековья было вполне сопоставимым по значимости с изобретением очков. В это время были изобретены модификации армиллярных сфер, астролябий, квадрантов, секстантов, визирных линеек и других инструментов. Один из наиболее известных опытов Альхазена состоял в изучении прохождения света через камеру-обскуру для проверки гипотезы о том, что световые лучи и цвета не смешиваются в воздухе или прозрачном теле и перемещаются прямолинейно.

Во второй половине X в. были внесены революционные изменения в гномонику, рассчитаны и построены изохроны — следы тени гномона на различных плоскостях. Это позволило на порядок повысить точность измерения времени.

Но самым значительным достижением средневековой инструментальной оптики являлась, безусловно, астролябия — угломерный прибор, вплоть до XVIII в. служивший для определения широт и долгот в астрономии, навигации и геодезии. Астролябия была своего рода аналоговым вычислителем, позволяющим определять время по звездам и Солнцу, моменты восхода и захода, а также проводить ряд астрономических вычислений. Для своего времени астролябия играла роль логарифмической линейки и даже персонального компьютера. Наибольший вклад в научное обоснование ее конст-

рукций и разработку самых разнообразных алгоритмов использования вне-сли арабские ученые. С XI в. астролябии стали известны в Западной Европе, где позднее начали создавать свои инструменты по арабским образцам. Пика своей популярности в Европе астролябия достигла к XV в. Знание астрономии тогда считалось основой образования, а умение пользоваться астролябией было делом престижа и свидетельством образованности.

Наконец, нельзя не вспомнить про «динозавров инструментальной оптики» — гигантские квадранты и секстанты, построенные в Средние века не только на Ближнем Востоке и в Передней Азии, но и в Европе, Индии и Китае. Размеры этих визирных инструментов были обусловлены понятным желанием повысить угломерные точности и тем самым уточнить параметры движения небесных объектов. Именно эти измерения через некоторое время легли в основу космологической революции Коперника.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Основные трактаты, составившие основу античной оптики (Евклид, Архимед, Диокл, Витрувий, Герон, Птолемей, Гален) были написаны на протяжении примерно 500 лет в период с III в. до н. э. по II в. н. э. Математический уровень этих книг не будет превзойден еще тысячу лет. Поскольку они были написаны на греческом, то в последующие века оказались доступными ничтожной части образованного сообщества.

Примерно через 500 лет после их написания начался интенсивный процесс перевода трактатов на арабский, что привело в X–XI вв. к расцвету мусульманской оптики (аль-Кинди, Хунайн ибн Исхак, Ибн Зал, Альхазен). Это процесс увенчался созданием капитального *Сокровища оптики*, в котором помимо собственно античных теорий и построений были высказаны революционные идеи относительно механизма зрения и гениальные догадки о природе света. Геометрические построения и доказательства Альхазена по некоторым позициям (в области катоптрики) превосходили греческие первоисточники.

Сама идея о независимом рассеянии каждой любого видимого объекта световых лучей во все стороны, столь очевидная для нас, была в то время абсолютно новаторской и критически важной для отказа от экстремистских зрительных теорий Античности. Именно она ознаменовала переход от «глазоцентрированной» оптики греков к перспективным построениям латинян. Возникавшая при этом проблема получения зрачком целого веера лучей, выходящих из одной точки объекта, решалась в соответствии с предложенным все тем же Альхазеном «принципа фильтра». Согласно ему за возникновение зримых образов отвечали только те лучи, которые были нормальны к передней поверхности хрусталика.

В период VIII–XII вв. общий уровень науки и техники мусульманского Востока намного превосходил Западную Европу. Рост городов, высокий уровень аграрной техники, ирригации, архитектуры и ремесел, научные центры и обсерватории, сотни ученых и философов, богатая письменная традиция, использование античного наследия и связи с Индией и Китаем — все это превратило мусульманскую цивилизацию того времени едва ли не в самую процветающую среди других цивилизаций Средневековья. Лояльность мусульманского духовенства того времени к занятиям наукой и техникой, поддержка ученых и инженеров со стороны государства, культурное единство, обеспечиваемое единым языком разнообразных народов, определили условия, способствующие развитию научно-технической мысли. Арабская *Аль-маназир*, ставшая наследницей греческой *Оптики*, представляла собой истинный фундамент будущих оптических трактатов, изучаемых в большинстве европейских средневековых университетов.

Почти сразу после создания основных трудов арабских ученых по оптике они переводятся на латынь. С ними заодно транслируются и сохранившиеся к тому времени античные трактаты — XI и XII вв. становятся пиком переводческой активности. Таким образом, второму-третьему поколению профессуры первых европейских университетов оказываются доступны многочисленные и весьма разнородные, а иногда прямо противоречащие друг другу источники знаний по оптике. Сложность ситуации усугубляется необходимостью христианизации *неортодоксальных* гипотез и теорий, в результате чего появляется метафизическое учение о свете и зрении благодаря трудам Августина и Альберта Великого. Епископ Линкольна Гроссетест впервые вводит в широкое употребление название новой науки *Перспектива*.

Но подлинное рождение *Перспективы* связано с именем монаха-доминиканца Роджера Бэкона, ставшего первым схоластом, попытавшимся соединить воедино античные, арабские и европейские взгляды по оптической науке. Результаты его деятельности следует признать более чем удачными, несмотря на некоторое увлечение зрительной психологией в ущерб прочим разделам. Из всех европейцев он дал наиболее строгую геометрическую модель глаза и математическое описание зеркальных образов. Его *Общая Перспектива*, написанная около 1263 г., была самым выдающимся оптическим произведением после революционных трудов Альхазена. В ней с большой экспрессией (но с разной степенью детализации) излагается весь комплекс оптических проблем, казавшихся актуальными в то время. Тем не менее, ни в одном из своих перспективистских трактатов Бэкон не поднимается до строго доказательного уровня греков и арабов.

Примерно через десять лет после бунтаря Бэкона свою *Перспективу* создает Иоанн Пеккам, архиепископ Кентерберийский. Ни по объему, ни по широте и глубине изложения она не может конкурировать с Птолемеем, Альхазеном и с латинским предшественником. По теологическим причинам этот трактат оказывается основным учебником для факультетов искусств европейских университетов. Если бы поляк Вителло не создал свой труд, то эпоха Ренессанса вплоть до XVII в. осталась бы в смысле оптики на более низком уровне *Перспективы* Пеккама.

Вершиной средневековой европейской мысли в области изучения механизма зрения и природы света по праву считается *Перспектива* Вителло. Поскольку ее детальному комментарию авторы посвятили несколько глав настоящего издания, здесь нет необходимости повторять слова об энциклопедическом характере трактата, его доксографическом формате и значимости для последующего развития оптической науки. По нашему мнению, достоинства и недостатки труда Вителло рельефно отражают истинную противоречивость средневековой оптики: сочетание математической аксиоматики и метафизических рассуждений, попытки революционных изменений, но с оглядкой на античные авторитеты, определенное влияние мусульманской философии и, в то же время, доминирующая роль христианской доктрины. И это только подтверждает тезис о неразрывной генетической связи конкретного учения в той или иной области знаний с эпохой, его породившей.

1

СХОЛАСТИКА И ПЕРСПЕКТИВА: РАССУЖДЕНИЯ О ЗРЕНИИ

Средневековые мусульманские и латинские мыслители активно обсуждали ключевые проблемы механизма зрения, природы света или причин цветового разнообразия природы, высказывая неоднозначные, а иногда и прямо противоположные мнения. Поскольку нашей сверхзадачей было наиболее полное раскрытие всей палитры средневековых оптических гипотез, мы считали целесообразным последовательно собрать воедино рассуждения ученых по тематически близкой проблематике. В результате получилось несколько глав в так называемом «доксографическом» стиле, когда мнения различных авторов по одному вопросу соединяются практически без оценочных суждений, но с пояснительными комментариями. В истории науки родоначальником доксографии считается ученик Аристотеля Теофраст, первым применивший подобный прием для анализа течений современной ему греческой философии. В отличие от Теофраста, наш обзор более формализован, и в этом смысле современному читателю легче разобраться, кто из средневековых авторов оказался ближе к истинному объяснению тех или иных оптических феноменов. Но даже ложные или порой абсурдные рассуждения восточных мудрецов или христианских схоластов не менее ценны для нас, поскольку позволяют почувствовать «живой пульс» интеллектуального поиска наиболее образованных и компетентных представителей эпохи Средневековья.

Основной вопрос античной оптики — это проблема выяснения механизма зрения. Природа света — вторая составляющая греческой оптики — занимала языческих философов меньше. Средневековые схоласты, формируя христианскую концепцию метафизики света, не могли оставить без изменений зрительные теории греков. Как мы видим? Если имеется *дух видимости*, то является ли он субстанцией или акциденцией? Что правдоподобнее: интрамиссионные *зрительные формы* или экстрамиссионные *зрительные лучи*? Эти и подобные вопросы обсуждались на схоластических диспутах в университетах. Обратимся к анализу наиболее ярких из этих рассуждений.

1. Аделард из Бата: *дух видимости* — субстанция или акциденция?

Анализируя теорию принимаемых наблюдателем особых реющих в воздухе зрительных форм предметов, Аделард много размышлял о том, как они могут передаваться снаружи в мозг человека, если на пути внешнего воздуха находится стекловидное тело. Не преодолевается ли это препятствие путем преобразования воздуха вблизи хрусталика? Аделард считает эту теорию абсурдной, но, тем не менее, полагает необходимым ее обсудить.

«Давайте, — говорит Аделард, следуя «Топике» Боэция, — допустим, что продвижение форм, далеких от глаза, осуществляется вплоть до мозга или до воздуха, окружающего мозг. В этом случае говорят о некоем подобии происходящего процессу выдавливания формы гончаром. Если воздух мозга отпечатывает эти формы в сознании, он делает их актуальными и существенными. Но это невозможно, поскольку никакие индивидуальные формы не могут испускаться от одного субъекта к другому без посредника. С другой стороны, если зрительная форма впечатывается, то для этого требуются некие локальные части в сознании, как это происходит в воздухе. Но мы не находим эти места в сознании, поэтому аналогия отливки для восприятия формы не годится и теория не пригодна».

Аделард приводит мнение тех, кто верит, что *дух видимости* исходит из мозга, но что он не доходит так далеко, как расположены видимые тела, отчего зрительные отпечатки надо искать в промежуточном воздухе. Поэтому нет необходимости обязывать лучи двигаться назад, возвращаясь в сознание, из которого они были испущены вперед. Тем самым утверждается, что между наблюдателем и предметом, который он видит, роль передатчика простых форм исполняет воздух. Аделард пишет: «Предположим, что человек смотрит с востока на запад на объект с распознаваемой формой некоего белого тела. В этом случае он будет искать форму белого тела в промежуточном воздухе. В то же время некто другой смотрит на запад с востока для того, чтобы разглядеть черное тело. И он с помощью того же процесса передачи ищет форму черного тела в том же промежуточном воздухе. Отсюда следует, что один и тот же воздух становится субъектом белизны и черноты одновременно и две противоположные вещи, действуя в противоположных направлениях, находятся в одном субъекте. Но это невозможно, и мы должны отвергнуть эту точку зрения».

Это рассуждение, несмотря на его схоластичность, здраво по сути и позволяет опровергнуть теорию *пневматических* зрительных форм. Автор на этом не останавливается и обращается к зеркальным образам, в которых видит серьезные аргументы в пользу определенных зрительных теорий. Он замечает, что, несмотря на их повседневную реальность, они не согласуются со многими учеными рассуждениями. Аделард предлагает «довериться академической истине», изложив гипотезу: в мозге, где генерируется воздух наиболее нежного сорта, производится огонь и соответственно сильный свет. Он распространяется из сознания через нервы, когда нужно опознать предметы. Отсюда и название, которое ему дали приверженцы физических зрительных теорий, в отличие от сторонников геометрического подхода, — *дух видимости*. Будучи субстанцией, этот дух требует локального выхода и находит его через вогнутые нервы, названные греками *оптическими*, которые

тянутся от мозга к глазам. Аделард говорит: «Перемещаясь к объекту, который мы рассматриваем, дух видимости проделывает путь с поразительной скоростью и воспринимает форму тела. Он получает и удерживает отпечаток и затем возвращается к своей исходной позиции, передавая ту самую форму, которую получил. Когда эта огненная сила обнаруживает на своем пути зеркало или другое подобное тело, то отражается ими, возвращается к собственному лицу и продолжает удерживать форму».

Не следует, однако, предполагать, что эта сила находит форму лица в зеркале. Будучи отраженным от поверхности, слишком гладкой, чтобы воспринять ее, дух видимости получает форму тогда, когда возвращается к лицу и передает ее, когда проходит весь этот путь назад. Именно эту теорию Платон изложил в «Тимее».

В вопросе, является ли дух видимости субстанцией или акциденцией, Аделард, «склоняясь дать своему полностью заполненному сердцу согласиться с Платоном», высказывается следующим образом: «Как было объяснено ранее, нечто исходит из мозга, то ли дух видимости, как говорят физики, то ли огонь из обоих наших тел (по Платону). Так что же это — субстанция или акциденция (вещество или случайное, необязательное свойство)? Я считаю, что это есть телесная субстанция, как говорят философы, этот огонь есть наиболее нежная субстанция, композиция четырех элементов». Здесь Аделарда подстерегает еще один обсуждавшийся в схоластической среде вопрос: как может этот дух видимости за столь короткое время достичь звезд и вернуться назад? Его рассуждения сводятся к следующему: «Если бы дух видимости был акциденцией, то он не смог бы пройти к внешним телам без субъекта. Но поскольку это тело, то легко понять какое неудобство из этого следует. Небесный свод, который некоторые называют *arlanos* (так как он неподвижен), а другие — внешней, самой дальней сферой, содержит все тела и места. И когда я говорю о звездах, я имею в виду те самые верхние тела, которые неподвижно закреплены на этой поверхности. Итак, когда зрительный дух от брошенного мельком взгляда из глаза, видит звезды, мы должны допустить, что зрительное тело за столь малое время проходит туда и обратно через плотный воздух. Оно проходит неопределенное расстояние между Луной и нами и между Луной и Солнцем и вверх к неподвижной сфере. И это сумасбродно и невозможно. Обычно ширина Земли не содержит в себе „пропорциональность неопределенному диаметру неба“».

Так же, продолжает Аделард, как протяженность неба и его форма изложены геометрами недоступно для понимания, то и такая большая скорость в столь малое время вовсе не очевидна, хотя «глаза людей быстрее их же разума». Аделард указывает, что многие ошибочно думают, что размер неба точно совпадает с Землей. Этих профанов Аделард противопоставляет людям «просветленным», которые видят величину внешних пространств и полностью неопределенный их диаметр. Они осознают круговращение небес и неопределяемые скорости движений духа видимости в обоих случаях благодаря применению разумных доводов. Идея огромной внешней сферы, отличающейся от всех земных созданий по «свершениям и силам», аналогична понятию о зрительном дыхании как наиболее быстрой и тонкой из всех вещей, созданных из элементов.

Если представить, что в то время как дух видимости достигает звезд, глаза закрыты, то дух видимости в этом случае должен оставаться снаружи. Как же получается, что пока глаза закрыты, зрительный дух не покидает внешний мир?

Но и здесь Аделард не опускает рук. Он пишет: «Дыхание видимости стремительно, и оно учреждено так, что испускается мозгом и через мозг. Верно, что глаз может закрыться только под управлением мозга, которым контролируются все произвольные движения и связи внутри тела. Давайте представим себе, что все, что посылается, так же возвращается. И когда это сбудется, закрывание двери позволяет образам втягиваться обратно без повреждений. Таким образом, ничего из его собственного не может остаться снаружи, особенно когда вещь сама по себе имеет такую скорость, что немедленно получает это назад».

Следующий вопрос состоит в том, почему зрительный дух не мешает себе, когда движется туда и обратно? Задавая вопрос себе от третьего лица, Аделард пишет: «Представим, что зрительный дух распространяется так далеко, как только мы можем видеть. Но взгляд действует до того, как вернется, или после, ведь он не переносит сообщения до тех пор, как вернется? Если зрение имеет место немедленно после возвращения духа, когда мы смотрим на что-либо долгое время фиксированным пристальным взглядом и видим эту вещь, то происходит следующее. Дух одновременно движется вперед и назад, если мы видим вещь непрерывно без перерыва. Отсюда дух должен мешать сам себе».

Ответ на этот риторический вопрос Аделард строит на рассуждении о последовательности *порций* духа видимости и отвечает воображаемому оппоненту: «Это ты сам себе мешаешь, и все это результат твоего непонимания. Вовсе не следует, что если мы некоторое время смотрим непрерывным пристальным взглядом, то зрительный дух, раз посланный, также возвращается, или мешает сам себе. Когда Аделард говорит, что дух испускается и возвращается быстро, это значит, что когда он возвращается, то он завершен. И другой дух (другая порция) имеет место, так как нет никакой задержки восприимчивости любым чувством. Интервал между возвращением духа и его новым испусканием может быть дольше, чем интервал между оригинальной эмиссией духа и его же возвращением. Поскольку этот интервал неразличим чувством, то путешествие духа видимости ошибочно кажется непрерывным».

2. Роджер Бэкон о скорости распространения света или образов.

Будучи сторонником интрамиссионных теорий, главную трудность Бэкон видит в проблеме, касающейся образов, испущенных и глазом и видимым объектом: производятся ли они мгновенно или во времени? Если во времени, то в ощущаемое или в неощутимое время? Бэкон вспоминает о мнении аль-Кинди, который старался показать в книге «*De aspectibus*», что лучи путешествуют через некоторое пространство все вместе за «неделимое мгновение». Он также ссылается на мнение Аристотеля, который говорит во второй книге трактата «*О душе*», что если умножение (увеличение) света на малом расстоянии может быть скрыто от наших чувств, оно не может быть скрыто в том случае, когда дистанция велика, например между востоком и западом.

Следовательно, если образы были произведены за определенное время, то оно должно быть воспринимаемо чувством. Но ведь мы не чувствуем его! Следовательно, они производятся не во времени, а мгновенно. Бэкон ссылается на Аристотеля: «Резоны о свете отличны от причин других чувств». Относительно тех других он учит, что их умножение происходит во времени. Следовательно, умножение света происходит мгновенно. Далее Бэкон пишет, что практически все авторы, затрагивавшие эту тему, разделяют ту же точку зрения, за исключением Альхазена, который старается опровергнуть это мнение во второй книге своего «Сокровища оптики». Аргументы Альхазена Бэкон считает не имеющими силы. Для него нет необходимости определять последнее мгновение нахождения вещи в состоянии потенции, как это универсально происходит в генерации перманентных вещей. Но это необходимо для определения первого мгновения реальности образов, как учит Аристотель в восьмой книге «Физики». Согласно известной античной дилемме «Сократ из не белого становится белым» нельзя сказать, в какой момент он не белый, но то, что теперь он белый, занимает измеримое мгновение. И если он был не белым на протяжении некоторого времени, то можно измерить продолжительность этих изменений.

Тем не менее Бэкон сам указывает на рассуждения Альхазена о том, что «перпендикулярный луч достигает конца пространства быстрее, чем наклонный». Но слова «быстрее — медленнее» бессмысленны без параметра времени, и не может определенная сила действовать мгновенно, как и подчеркивал Аристотель. Он доказывал это тем, что если предположить обратное, то большая сила должна действовать быстрее, чем мгновение, что невозможно. Только неопределенная (сверхъестественная) сила может действовать мгновенно. Определенная конечная сила не может делать что-либо мгновенно, а только во времени.

По этой причине, продолжает Бэкон, если пространство, через которое зрительные образы движутся, имеет первую и последующие части, его пересечение должно иметь первую и последующие части и в пространстве, и во времени. Если образы телесных вещей в среде суть субстанции, то они должны быть необходимо размерными и, следовательно, приспособленными к размерностям среды.

Далее следует рассуждение о том, может ли зрительное восприятие возникать мгновенно. Бэкон пишет, что если образ производится за единое мгновение во всей среде сразу, то он одновременно должен оставаться в потенции на предмете (или в глазу) и в реальности в промежуточной среде. Но это, по его мнению, невозможно по нескольким причинам. Во-первых, тогда созданная вещь должна быть одновременно во многих местах и по тем же причинам в бесконечном (неопределенном) числе мест. Значит, оно должно иметь бесконечную силу, «как у Бога или равную Божьей». Во-вторых, когда вещь находится в потенции, она полностью покоится и не движется никоим образом. И когда она реальна, то имеет место движение, и движение это между начальной и конечной точками. Следовательно, образы «одновременно покоятся перед трансляцией и должны завершить свое движение», они должны актуально двигаться через все пространство. Итак, резюмирует Бэкон, они одновременно движутся и не движутся, что есть несовместимое противоречие.

Поскольку вопрос о механизме зрения связан с представлениями о назначении оболочек глаза и его анатомическом строении, часть схоластических рассуждений о видении была посвящена тому, что мы сегодня назвали бы физиологической оптикой.

3. Иоанн Пеккам о сферичности оболочек глаза.

Архиепископ Кентерберийский Иоанн Пеккам был не только выдающимся церковным деятелем, но и эрудированным и изощренным схоластом. Он творил несколько позже основной плеяды средневековых перспективистов, поэтому его «Общая перспектива» вобрала в себя многое из того, что до него написали Альхазен, Бэкон и Вителло. Эта компилятивность полностью относится и к изложению вопроса о строении глаза, анатомическая схема которого во многом близка к схемам его предшественников.

Рассуждения Пеккама начинаются со схоластического доказательства того, что глаз не смог бы воспринимать размеры окружающих предметов, если бы был некруглым. «По многим причинам, — пишет автор, — которые должны быть легко осознаны, глаз должен быть круглым для того, чтобы легче двигаться и поворачиваться. Если бы оболочки, через которые на глаз воздействуют образы, были не сферичны, то глаз мог бы смотреть единым взором только на те вещи, которые ему соразмерны. Это очевидно, поскольку зрение осуществляется прямыми линиями, перпендикулярными глазу и пересекающимися в его центре, как будет доказано ниже. Если бы глаз имел плоскую поверхность, то только равноотстоящие перпендикуляры достигали бы его».

В этом месте Пеккам приводит следующую схему (рис. П1). Предположим, хотя это и невозможно, что глаз имеет плоскую поверхность AB , а CD — видимый объект. Теперь проведем перпендикуляр из точки B в точку D . Также проведем другой перпендикуляр из точки A в точку C . Поскольку AB и CD параллельны, $AC = BD$, соответственно $BA = DC$. Таким образом, видимая вещь не может быть больше величины отверстия для глазного зрительного духа. Однако это неверно, из чего следует, что глаз не плоский, но почти сферический и в его центр лучи могут попасть только перпендикулярно от объектов, по размеру много больших самого глаза. Кроме того, пишет Пеккам, кривизна оболочек «согласуется с интерьером емкости, так как сфера обладает наибольшим объемом по сравнению с другими изопериметрическими (то есть соразмерными) фигурами».

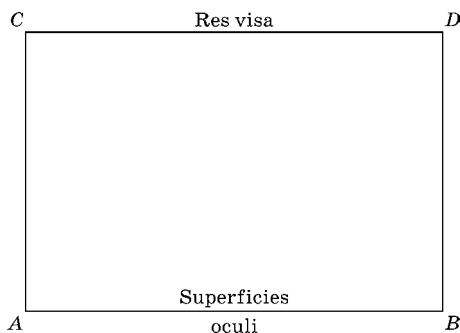


Рис. П1

Поскольку Пеккам знаком с описанными Галеном и подтвержденными Альхазеном особенностями формы склеры и увеи (двух не совсем сферических оболочек), то он рассуждает о том, что некоторые из оболочек, составляющих глаз, должны отклоняться от полной сферичности. Например, пишет Пеккам, если бы консолидатура (склера), которая окружает глаз, охватывала его целиком, то глаз ничего бы не увидел, поскольку консолидатура непрозрачна. Увея (сосудистая оболочка)

также, должна быть открыта спереди для прохождения духа видимости и зрительных образов. Пеккам отмечает, что и хрусталик также далек от сферичности, но объяснения этому не дает, зато продолжает рассуждения об особенностях строения глаза вопросом о том, почему **глазу нужны оболочки различного (неконцентрического, эксцентричного) расположения.**

Для Пеккама очевидно, что та часть глаза, в которой содержится зрительная сила, очень деликатна и чувствительна ввиду своей прозрачности и водянистости своей наиболее тонкой композиции. Если бы так не было, то было бы невозможно «тонкости зрительного духа проходить из мозга». Также образы не смогли бы принимать вид субъекта для очищения и преобразования материальности в нематериальность. Кроме того, влияние образов могло бы ощущаться «только в самом тонком теле». Такая оболочка была бы легко повреждаемой, если бы не окружалась другими, более прочными. Следовательно, глаз расположен так, чтобы существовала внешняя оболочка, называемая консолидацией, сильная и толстая настолько, чтобы удерживать внутренние оболочки глаза в соответственном расположении. Внутри склеры расположена корnea (роговица), подобная рогу. Она тверда, поскольку подвергается действию воздуха, и прозрачна, так как должна быть проницаемой для образов.

Пеккам воспроизводит схему последовательности глазных оболочек Альхазена: внутри роговицы имеется туника увея. Она черна, как виноградина, «для затемнения оболочки, в которой расположена сила зрительного духа». Эта прочная туника предотвращает просачивание через окружаемые ею оболочки, и образы могут проходить сквозь нее. Она имеет круглую апертуру спереди (зрачок), диаметр которой примерно того размера стороны квадрата, который можно вписать внутрь сферы увея. Внутри последней находится альбугинеус — водянистая оболочка, подобная яичному белку. Она прозрачная, так что образы могут проходить через нее свободно, и влажная для увлажнения хрусталика таким образом, что сеть, окружающая его, не подвержена высыханию.

Много рассуждений Пеккам посвящает хрусталику (или ледяному телу, как его было принято называть в то время), который подобен стеклу (!) и является самой внутренней средой. Это тело влажно для чувствительности к свету — через свойство не только прозрачности, но также и «проницаемости чувств» — и оно тонко (нежно) настолько, чтобы его было «просто стимулировать образами». Оно также несколько более плотно для «удерживания образов внутри себя», иначе они выдавились бы наружу. Эта среда разделена на две части, и ее передняя доля есть часть большей сферы, концентричной со всем глазом и параллельной переднему фронту глаза. Есть и задняя часть, называемая стекловидным телом, более нежная, чем передняя часть. Эти две части окружены некоей оболочкой — тонкой сеткой, подобной паутине, называемой аранея (ретины, сетчатка). Ее функцией является удержание этой влажной среды.

Не может автор обойти вопрос о том, зачем нам два глаза и как они создают общее впечатление об окружающем мире. В своей схоластической постановке он звучал так: могут ли два глаза быть сокращены до одного? Пеккам пишет: «По щедрости Создателя мы имеем по два глаза и, таким образом,

даже если потеряем один, то второй останется». Однако из этого есть следствие. Два полых нерва, порожденные во внешней части мозга, направлены прямо к лицу. Сначала они соединяются и формируют один нерв, но потом они снова делятся на два полых нерва, открывающиеся ниже лба. Здесь они расходятся в стороны, и на их окончаниях сформированы глазные яблоки. Соответственно образы видимых предметов воспринимаются обоими глазами так, что если образы не едины, то одна вещь воспринимается как две. Далее следует известный еще с Античности аргумент: это очевидно, когда пальцем давят на один глаз и приподнимают его со своего места. Одна вещь видится удвоенной, потому что образы, воспринимаемые двумя глазами, не соединяются в общем нерве. Следовательно, для того чтобы зрительные ощущения были едиными, образы должны быть доставлены вместе в общий нерв и там соединиться. Эту часть трактата Пеккам завершает поучительным замечанием: строение глаза не есть предмет рассмотрения физики, которая рассматривает только то, что принадлежит центру или эксцентру, рефракции и направленности лучей. Таким образом, архиепископ Кентерберийский, отдав должное *физическим* теориям строения глаза, оставляет в вопросе о механизме видения окончательное решение за теологическими аргументами из области метафизики зрения.

4. О хрусталике как органе зрительной силы.

Альхазен. «Сокровище оптики» (книга I, раздел 16). Основным положением теории зрения Альхазена было утверждение о том, что хрусталик является главным чувствительным органом глаза. И Альхазен последовательно доказывает, что зрение производится с помощью ледяного тела в любом случае: и через формы, приходящие от видимых объектов к глазу, и каким-то другим путем. Он старается обосновать это утверждение, заранее не определившись в предпочтениях относительно интра- или экстрамиссионного варианта зрительной гипотезы. По Альхазену, «взгляд не осуществляется через одну из оболочек перед хрусталиком, поскольку это просто инструменты для хрусталика». Основная аргументация: если произойдет повреждение хрусталика, а другие оболочки остаются здоровыми, зрение пропадает. А если повреждаются другие оболочки, их прозрачность, а здоровье хрусталика сохраняется, то зрение не нарушается. Имеются и дополнительные причины: если есть препятствия открытию увеи (зрачка) или прозрачность этой среды нарушена, то зрение нарушается даже при здоровой роговице. Если препятствие устранено, зрение возвращается. Альхазен демонстрирует знание глазных болезней: если плотный непрозрачный фрагмент попадает внутрь водянистой влаги перед хрусталиком (между ним и открытой частью увеи), зрение расстраивается. Когда фрагмент удален или перемещен в каком-либо направлении от прямой линии между хрусталиком и зрачком, зрение восстанавливается. Следовательно, чувство зрения расстраивается, если поражен хрусталик, но оболочки перед ним сохранены. И это есть аргумент в пользу размещения зрительной силы в хрусталике, а не в оболочках перед ним. Завершается рассуждение ключевой фразой: «И врачи опробовали все эти вещи».

Роджер Бэкон «Opus Majus» (том I, раздел 4, глава 2). «Внешняя часть хрусталика имеет много свойств. Первое и главное — это то, что зрительная

сила заключена именно там. Все прочие среды, расположенные перед ним, служат его инструментом и для его защиты. Если хрусталик будет поврежден, а все прочие сохранятся, то зрение станет невозможным. Но если хрусталик сохранен, а повреждены прочие оболочки (при условии, что их прозрачность сохранена), зрение не нарушается и продолжает служить. Пока прозрачность внутри хрусталика сохраняется, то, как бы продолжается прозрачность воздуха, зрение не повреждается при условии, что внешняя поверхность хрусталика сохранена. Внешняя часть хрусталика влажна, поэтому она готова к восприятию образов света и цвета, так как очень сухим средам сложно принимать отпечатки. Она также тонка (нежна), поскольку нежность тела определяет чувствительность. И она до некоторой степени прозрачна, чтобы принимать формы света и цвета и они могли проходить через нее в общий нерв. И она в некоторой степени плотна, чтобы могла удерживать образы внутри себя долгое время и они могли бы предъявляться зрительной силе для формирования суждений. Если бы она была слишком прозрачной, образы прошли бы через нее слишком быстро и не могли бы сохраняться нужное для вынесения суждений время. Именно поэтому хрусталик должен быть плотным, чтобы переносить некие повреждения при избыточном числе образов. Если мы видим яркий свет, и цвет направлен прямо в зрачок, то он может повредить его, и это вызывает страдания. Но каждое действие света имеет единую природу (и то же справедливо для цвета), за исключением случаев, когда действие слишком сильно или, наоборот, слишком слабо».

Вителло «Перспектива» (книга III, теорема 4). «Очевидно, что ледяное тело есть превосходный орган зрительной силы. По своей прозрачности только эта среда может воспринимать формы видимых объектов, и она локализуется в середине всех сред и оболочек. И если любая среда или оболочка, содержащая в себе хрусталик, будет повреждена, то глаз все же, получая заботу от медицинской помощи, исцеляется и зрение восстанавливается. Однако когда сам хрусталик поврежден, все зрение расстраивается без надежды на восстановление даже при медицинском вмешательстве. Итак, принципиально хрусталик, или ледяное тело, есть орган зрительной силы, в котором количество образов бережно сохраняется».

5. Об акте зрения и действии видимых форм.

Альхазен «Сокровище оптики» (книга I, разделы 25, 26). Сначала автор повторяет декларацию о том, что ледяное тело частично прозрачно и частично плотно. И в этом отношении оно подобно стеклу. Поскольку оно обладает частичной прозрачностью, то может воспринимать зрительные формы, и они проходят сквозь него в силу этой прозрачности. Но вследствие определенной плотности хрусталика, он препятствует формам проходить сквозь него, и эти формы фиксируются на его поверхности, хотя и слабо. Альхазен приводит пример: подобным образом, когда свет падает на прозрачные тела с некоторой плотностью (вода, стекло, кристаллы), он проходит внутрь вследствие прозрачности и одновременно частично фиксируется на их поверхностях, вследствие их плотности.

Альхазен указывает, что вещества без какой-либо плотности не могут сопротивляться распространению света, но поскольку все реальные прозрачные

среды имеют некоторую плотность, то такое сопротивление существует. По этой причине, пишет он, формы проходят в ледяное тело в количестве, соответствующем «их осязательной силе восприятия». И когда формы достигают поверхности, они действуют на нее, и кристаллик «претерпевает» от этих форм. Как и положено последователю Аристотеля, Альхазен постоянно подчеркивает разницу между светом и цветом, обоснованную Стагиритом в «Физике». Он пишет: «Когда свет проходит через ледяное тело, цвет проходит вместе с ним, так как цвет смешан со светом. И ледяное тело воспринимает это действие, и цвет проходит насквозь. И ледяное тело воспринимает количество этого действия и страдает, поскольку формы видимых вещей, которые на его поверхности и которые проходят через все его тело, оно сохраняет в пропорции поверхностной и объемной частей форм». Итак, световые формы отпечатываются на поверхности кристаллика, а цветовое разнообразие окружающих предметов, как качество более тонкое, проходит насквозь. Это критическая точка теории зрения Альхазена. Чистое зрение в его понимании есть результат, когда форма видимого объекта упорядочена на поверхности и внутри кристаллика точно так же, как и на самом объекте. Объект становится видимым, когда образы, представляющие его индивидуальные точки (или малые части), падают на кристаллик в том же порядке, как и те точки, которые они представляют и из которых испущены. Передача образов *точка в точку* устанавливается между всеми точками объекта и соответствующими им точками поверхности кристаллика. Итак, действие, производимое светом в ледяном теле, приводит к некоторому роду страданий (претерпеваний). Эти страдания способны быть воспринятыми, но при этом глаз не повреждается ими. Значение этого механизма в том, что свет индуцирует раздражение, а сильный свет раздражает глаз избыточно и причиняет боль (как свет солнца, когда смотришь на него или когда его свет отражается гладкой поверхностью). Действие любого света на глаз того же сорта, и оно «разнообразно только в отношении больше — меньше».

Вителло «Перспектива» (книга III, теорема 6). «Зрение осуществляется через действие видимых форм на глаз и раздражение глаза в соответствии с силой этих форм... Глаз повреждается сильным светом, как это происходит при рассмотрении самого солнца или другого сильного света. В этих случаях глаз становится неспособным видеть до тех пор, пока не сможет восстановиться за счет внутренних природных сил. Но зрение также раздражается и чувственными формами, пока они удерживаются ввиду своего сильного впечатывания. Тогда в глазу долгое время остается яркий свет или цвет, особенно если посмотреть в темноту или слабо освещенное место. Отчетливо сохраняются контуры видимого объекта, который был виден прямо перед этим вместе со своим светом, цветом и формой».

В этом отрывке есть и прямое подражание отцу оптики, и нечто новое, связанное с рассуждениями о послеобразах. Кроме того, польский автор пытается продолжить рассуждения Альхазена о роли света и цвета в механизме зрения. Он пишет, что иногда сильный цвет, смешанный со светом, действует на зрение. Так, яркий зеленый объект может сделать белый объект, рассматриваемый позже в темном месте, видимым с примесью зеленого. И если глаз закрыт, цветовая форма продолжает видаться, несмотря на «прекраще-

ние взгляда». Таким образом, видимые формы действуют на зрение, и оно раздражается в своем порядке. И если все видимое есть свет и цвет, и свет есть ипостась цветов и свет также рассеивается сферически во всех направлениях — то очевидно, что «все цвета диффундируют сходно». Таким образом, по Вителло, когда глаз находится напротив освещенного или цветного объекта, свет умножается и вместе с цветом объекта доставляется на поверхность зрения и воздействует на хрусталик, который страдает от этого.

Завершим эту часть рассуждений Вителло об акте зрения цитатой, посвященной соединению физики и метафизики зрения: «Когда свет и цвет приходят одновременно на поверхность зрения и действуют на нее, то зрение претерпевает от них и сила души добывается понимания путем соединения видимых форм и душевного органа. Именно поэтому зрение осуществляется в том же порядке присутствия видимых форм, которые исходно действовали на орган зрения».

Иоанн Пеккам «Общая перспектива» (книга I, разделы 28–43). Поскольку действие видимого объекта на глаз есть единый акт и яркий свет вызывает в глазу ощутимые раздражения и боль, все акты света болезнетворны, даже если мы этого не чувствуем. Для Пеккама из этого следует с обязательностью, что когда видимый объект прекрасен, то даже при его продолжительном рассматривании не происходит утомления, причина которого есть просто предшествующее наблюдение. Здесь он несколько отклоняется от пути Аристотеля, соглашаясь с теми, кто «говорит, что ощущаемый объект есть совершенство чувства, ничего не причиняет боль в акте восприятия до тех пор, пока оно не чрезмерно». Пеккам считает аргумент Альхазена о том, что если некоторые внешние ощущаемые тела индуцируют боль, то так обычно и должно происходить, не таким уж неотразимым. Для него ближе точка зрения, по которой сильному действию соответствует физическая боль, а умеренному — удовольствие и радость.

Несогласие архиепископа Иоанна Пеккама с выводами Альхазена о том, что любое действие света болезненно, явно продиктовано не столько физической аргументацией, сколько метафизическими рассуждениями и религиозными догматами. Вполне допустимо было позволить языческо-мусульманской трактовке внедриться в математическую и отчасти физическую область описания зрительного процесса, но никак нельзя было согласиться на ее полное доминирование в вопросах онтологических и гносеологических. Зрение (внешнее и внутреннее) справедливо признавалось основным инструментом познания мира. Наличие сверхчувственных по своей природе характеристик (красота, любовь, радость и противоположные — уродство, прелесть, соблазн) активно обсуждалось католической церковью. Это ни в коем случае не позволяло свести весь акт зрения к «болезненному воздействию», тем более что проводниками такой гипотезы были нехристианские авторы. Напротив, все, что было написано Альхазеном относительно геометрии зрительных линий, вдоль которых внешняя радиация попадает в глаз, было воспринято Пеккамом практически без купюр.

Пеккам признает, что образы испускаются во всех направлениях от каждой точки объекта и попадают во все точки хрусталика. Тогда невозможно установить поточечное соответствие. Однако проблема разрешается, если

игнорировать все лучи, за исключением перпендикулярных к поверхности глаза и хрусталика. Тогда только один луч из каждой точки объекта будет участвовать в зрении. И полный набор таких лучей будет иметь тот же порядок на поверхности хрусталика, что и на видимом объекте. Более того, все эти лучи прямолинейны, поскольку перпендикулярны туникам глаза и проходят без преломления.

Возможность восприятия человеком неискаженного образа действительности формулировалась Пеккамом так: «Зрение имеет место путем упорядочения видимых образов на поверхности ледяного тела точно так же, как они расположены на внешнем объекте». Образы воспринимаются без передачи особого вещества, нематериально. Следовательно, невзирая на размер видимого объекта, его образы могут получаться отчетливо и в правильном порядке на поверхности ледяного тела.

Архиепископ Кентерберийский разбирает и более отдаленную проблему, возникающую в интрамиссионной теории зрения Альхазена: если видение имеет место через действие перпендикулярных образов, испущенных из каждой точки поверхности объекта и сходящихся в апексе глаза, то как возможно, чтобы эти образы спрессовывались вместе на подходах к апексу? Ответ на этот вопрос состоял, во-первых, в том, что для нематериальных образов сжатие не есть проблема, и, во-вторых, что они продолжают сохранять свое взаимное расположение и в малом, и в большом.

Наконец, Пеккам переходит к проблеме проникновения зрительных образов из глаза в сознание: «По достижении внутренней части ледяного тела, которая эксцентрична роговице и водянистой влаге или стекловидного тела, которое более нежно, чем внешнее ледяное тело, лучи разделяются и преломляются от перпендикуляра. Отсюда образы переносятся в место внутреннего суждения посредством зрительного духа». Это самое важное в теории Альхазена и его последователей XIII в. Перпендикулярные образы, обеспечивающие зрение, актуально не достигают апекса и поэтому не реверсируют свой порядок, как если бы они продолжались после пересечения в вершине глаза. Ведь тогда изображения в глазу были бы перевернутыми и весь мир виделся бы нами вверх ногами. Вслед за Альхазеном Пеккам доказывал, что поверхность, отделяющая хрусталик от стекловидного тела, располагается перед центром глаза так, что образы преломляются от центра и ослабевают настолько, что оказываются недостаточными для достижения апекса и тем самым сохраняют должный порядок. Они проходят сквозь стекловидное тело в оптический нерв в «место внутреннего суждения» в мозге.

Все лучи, перпендикулярные поверхности глаза, остаются не преломленными даже после их прохождения через поверхность ледяного тела. Но задняя часть последнего эксцентрична, поэтому Пеккам вслед за Альхазеном утверждает их преломление за хрусталиком. Только центральный перпендикулярный луч (т. е. ось пирамиды радиации) перпендикулярен поверхности, отделяющей ледяное и стекловидное тела, и потому этот луч единственный проходит через весь глаз без преломлений.

6. Дебаты о зрительных лучах.

Альхазен «Сокровище оптики» (книга I, раздел 23). Альхазен считает допустимым утверждать, что прозрачное тело, например воздух, получает

что-то от взгляда и передает это видимому объекту. В этой части он излагает точку зрения тех, кто полагает, что лучи испускаются из глаз. Далее он, предполагая, что это правда и что лучи испускаются из глаза и проходят через прозрачную среду к объекту, допускает осуществление зрительного восприятия этими лучами. Следовательно, перед нами такие лучи, которые «ощупав» объект, должны передавать нечто к глазу. Значит, глаз воспринимает не свет или цвет, но нечто попадающее в глаз от света и цвета объекта. И это в соответствии с изложенной Альхазеном точкой зрения экстремистов доставляется лучами.

Очевидно, что зрение доводится до конца только в том случае, если промежуточное тело между глазом и объектом прозрачно, и не происходит, если оно непрозрачно.

Альхазену остается показать, что формы света и цвета в видимом объекте достигают глаза самостоятельно и что они движутся от видимого объекта к глазу. Поскольку, пишет он, глаз воспринимает свет и цвет видимого объекта, то неважно, какова ситуация по отношению к зрительным лучам, единственно важное — это форма, не зависящая от того, есть лучи или нет. Более того, Альхазен утверждает, что формы света и цвета всегда генерируются в воздухе и во всех прозрачных средах и всегда протягиваются к противоположной области, есть там глаз, или его там нет. Следовательно, истечение лучей из глаза излишне и бесполезно. Именно эта позиция Альхазена явилась источником всей средневековой *оптической революции*.

Заметим, как аккуратно ведет рассуждения Альхазен: он не утверждает, что не существует зрительных лучей. Он лишь говорит о том, что они не могут воспринимать внешние объекты. Он, конечно, убежден, что их нет, и далее об этом говорит более открыто. Но осторожность в его аргументации обеспечивала западным перспективистам пространство для маневра. Например, Бэкон в своей аргументации предполагает наличие зрительных лучей и даже устанавливает для них вспомогательную роль в зрительном процессе. Альхазен утверждает, что нечто возвращается от видимых объектов к глазу, и это не может быть ничем, кроме воздуха и прозрачных сред между глазом и видимым объектом. Они передают нечто от объекта глазу, невзирая на время и в соответствии с истинным расположением без требований того, чтобы нечто происходило из глаза. Итак, бесполезно утверждать существование зрительных лучей.

Альхазен подчеркивает, что все математики, говорившие о лучах, не использовали ничего в своих демонстрациях, за исключением воображаемых линий, и просто называли их радиальными линиями. По мнению Альхазена, представления тех, кто рассматривал радиальные линии как воображаемые, верны, а тех, кто рассматривал их как нечто реальное, — ошибочны.

Роджер Бэкон. «Opus majus» (книга I, раздел 7, главы 3, 4). Роджер Бэкон, цитируя по вопросу о зрительных лучах не только Альхазена, но и Авиценну (третью книгу трактата «О душе») и Аверроэса («Об ощущениях и ощущаемом»), пытается найти компромисс между точками зрения этих авторов. Все трое высказывались против зрительных лучей из глаз наблюдателя. Бэкон несколько раз повторяет, что эти взгляды не противоречат возможной генерации образов из глаз или их вспомогательного участия в зрении. Но он определенно высказывается против тех, кто считает, что некоторое тело

(видимый образ или что-либо подобное) протягивается из глаза до объекта, благодаря чему глаз воспринимает объект, и что это нечто охватывает образы объекта и возвращает их глазу. Бэкон указывает, что критика зрительных лучей тремя мусульманскими философами ниспровергает только античные теории зрительных лучей, подобные теориям Платона и Птолемея. И что эта критика неприменима к теории, которую предлагает он сам.

Бэкон утверждает, что любая природная вещь «завершает свое действие единственно через свою собственную силу и образы», как Солнце и другие небесные тела производят рождение и разрушение вещей через их силы. Следовательно, глаз может выполнить акт зрения своей собственной силой. Но акт зрения есть восприятие видимого объекта на расстоянии, и глаз воспринимает объект через свою силу, умноженную, усиленную. Образы вещей мира проносятся через пространство, оккупированное визуальной пирамидой, видоизменяя и облагораживая среду и возвращая их соразмерности глазу. Таким образом, по Бэкону, образы из глаза подготавливают приближение, наступление образов видимого объекта и, кроме того, облагораживают образы объекта «для полной комфортности и соразмерности благодетельству живого тела глаза».

Бэкон много внимания уделяет рассмотрению «умножения образов из глаз». Он пишет: «Должно быть узнано, что они существуют в определенном месте между глазом и рассматриваемой вещью, как и образы видимого объекта. И они занимают место внутри пирамиды, вершина которой в глазу, а основание — на объекте. И так как образы объекта распространяются прямолинейно в единой однородной среде, а также преломляются различными путями, когда попадают в среду различной прозрачности, а также отражаются, если встречают плотное непрозрачное тело, то и образы из глаза распространяются по тем же путям, что и образы видимых объектов. И зрительные лучи так же формируют пирамиду, вершина которой в глазу, а основание — на всех частях видимого объекта». Тем самым Бэкон утверждает, что «от поверхности ледяного тела (как основания) распространяется бесконечное число пирамид, имеющих одну базу, а их вершины попадают на индивидуальные точки видимого объекта так, что все части объекта предстают так строго в нужном порядке».

Бэконовские пирамиды реверсированы по отношению к основной зрительной пирамиде, которая имеет вершину в глазу наблюдателя и основание на объекте. Каждая точка объекта служит вершиной пирамиды лучей, основанием которых является поверхность хрусталика. Тем не менее одна из этих пирамид является главной, а именно та, чья ось проходит через центры всех частей глаза (ось всего глаза). Образы объектов и образы из глаза занимают одно и то же место и при этом не конфликтуют, не перепутываются, не объединяются. По Бэкону, это происходит потому, что они не одного сорта, разного рода, «поскольку зрачок не имеет цвета, а свет и цвет не проходят через область души». Образы из глаза автор считает образами «живого тела, где господствует сила души» и, следовательно, не может быть конфликта между ними и образами рассматриваемой вещи.

Иоанн Пеккам «Общая Перспектива» (книга I, разделы 44–46). Позиция следующего из цитируемых здесь перспективистов — архиепископа Иоанна

Пеккама, обладая многими общими чертами с уже приведенными текстами, в то же время отличается большей категоричностью в отрицании самого факта существования зрительных лучей. Он пишет: «Предполагая, что зрение осуществляется через лучи, испущенные из глаз, математики только бесполезно напрягаются». Тем не менее он приводит и точку зрения аль-Кинди из его «De aspectibus», и мнение Платона, для которых модель простирающихся из глаз истечений была предпочтительнее. С ними Пеккам практически не полемизирует, но вот позиция Блаженного Августина, по вполне понятным причинам, его беспокоит. Этот церковный авторитет в работах, посвященных метафизике света, декларировал, что сила души воздействует на «свет из глаз», тем самым косвенно подтверждая факт существования последнего. Пеккам, похоже, не возражает против метафизического света из глаз, как и против любых других световых и зрительных параллелей материального и духовного миров. Он готов признать и физическое существование «света из глаз». Но он не видит необходимости сводить зрение к охватыванию видимых предметов глазами щупальцами. В сорок пятом разделе «Общей перспективы» он утверждает: «Лучи, исходящие из глаз и падающие на видимый объект, не могут быть достаточными для видения». Аргументация этого положения нам знакома: «Если предположить, что лучи исходят из глаз и падают на объект, чтобы охватить его, то остается вопрос: они возвращаются к глазу или нет? Если не возвращаются, то зрение не достигается с их помощью, поскольку сама душа не может выходить из тела. А если возвращаются, то как они это делают? Они что, живые? Разве все видимые объекты зеркальны, чтобы отражать лучи?»

Пеккам утверждает, что если лучи возвращаются к глазу с формами видимого объекта, то это возвратное движение напрасно, поскольку свет сам по себе (или формы объекта через силу света) распространяется через всю среду. Следовательно, видимый объект не нуждается в помощи зрительных лучей как передатчиков.

Ответы на все эти вопросы для Пеккама очевидны, а его предпочтение по глазным истечениям изложено в разделе 46: «Естественный (природный) свет из глаз участвует в зрении через свое излучение... Глаз должен иметь природный свет для видоизменения образов и придания им соразмерностей со зрительной силой. Для образов, испущенных светом солнца, может требоваться некоторая приглушенность с почтением к глазу путем смешивания солнечного света с естественным светом глаз».

Пеккам не может не упомянуть традиционный пример со светящимися глазами ночных животных: «Так как зрение имеет единую природу у всех животных, то определенные особи способны даровать умноженную силу цвета свету из своих глаз так, что его видно ночью». Из всего этого для Пеккама однозначно следует, что свет из глаз имеет некоторое значение. Он явно находится под влиянием Бэкона с его теорией о примирении предположения о существовании зрительных лучей с Альхазеновой атакой на них.

Вителло «Перспектива» (книга III, теорема 5). «Невозможно для зрения, чтобы оно прилагалось к видимому объекту посредством лучей, истекающих из глаз». Заметим, что в XIII в. только Вителло до конца следовал Альхазену в отрицании факта существования таких лучей. Приводя стандартный набор

схоластических рассуждений, Вителло придает им решающее, а не вероятностное звучание: «Если из глаза должны выходить определенные лучи, с помощью которых зрительная сила объединяется с внешними объектами, то эти лучи либо телесны, либо бестелесны. Если телесны (вещественны), тогда если глаза смотрят на небо и звезды и нечто телесное вытекает из глаз, то с необходимостью заполняет все пространство вселенной между глазом и видимой частью неба без ущерба для самого глаза». Но это невозможно, продолжает Вителло, чтобы такое происходило мгновенно и при этом вещество и размер глаза останутся неизменными. А если утверждать, что эти лучи бестелесны, тогда они не могут постигнуть объект, поскольку восприятие происходит только через телесные вещи. Невещественные сущности не могут вернуть глазу что-либо, благодаря чему зрение могло бы воспринимать видимые вещи. Нужен контакт между глазом и видимой формой, «так как нет действия без контакта». По Вителло, если лучи и исходят из глаз и даже возвращаются назад, то они, ничего не перенеся, не могут обеспечить зрение. Но если они возвращают глазу нечто, то это свет или цвет, которые не нуждаются в посреднике в виде испущенных из глаз лучей. Они сами распространяются (умножаются) к глазу вдоль прямых линий. Для Вителло очевидно, что объект может актуально восприниматься, если возможно провести прямые линии между точкой поверхности видимого объекта и данной точкой на поверхности зрения. Но он еще раз подчеркивает: эти лучи не исходят из глаза. Вителло делает различие между лучами, актуально испущенными из глаза наблюдателя, и воображаемыми линиями, соединяющими точки глаза и объекта. Это — безусловное эхо рассуждений Альхазена о механизме зрения.

7. Психология зрительного восприятия.

Роджер Бэкон «*Opus majus*» (книга I, раздел 1, главы 2–4). Накал страстей в Средние века вызывали дебаты о том, что происходит со зрительными формами после того, как они отпечатаются на поверхности хрусталика и как сознание человека преобразует и распознает эти формы. Все средневековые трактаты о *Перспективе* были наполнены рассуждениями о психологии зрительного восприятия, в том числе о способностях распознавания образов. Употреблялось сочетание *virtus distinctiva*, которое можно перевести и как «различительная способность», и как «особая функция». Термин *virtus*, переводимый как «сила» или «способность», был ближе к понятиям «функция» или «впечатление». Характерно, что, говоря о психологии зрения, часто возвращались к более древнему понятию «образы» (*species*) вместо латинизированных форм (*formae*). Изменяется и словесное оформление зрительных процессов. Греко-арабские *сохранения форм*, или *претерпевания*, превращаются в *ощущения, впечатления* (*sensibile*) с соответствующими атрибутами, свойствами и качествами.

Для полного построения науки *Перспективы* Бэкон обосновывает необходимость рассмотрения «частей мозга и способностей души», поскольку только так возможно «открыть те вещи, которые необходимы для зрения» [383]. Он напоминает, что оптические нервы, которые обеспечивают зрение, берут свое начало в мозге. Именно поэтому «писатели по оптике объясняют различительную способность прохождением образов через разные среды

видения». При этом неизвестно, расположена ли эта различительная способность среди сил души, «органы которой обособлены в мозге». Из внутренних способностей чувствительной души для зрения наиболее актуальны воображение и так называемое *общее чувство* (*sensus communis*).

Бэкон отмечает, «как визуальные нервы сходятся, спускаются от мембран мозга и проходят через линии (коры) мозга», но далее утверждает, что «никто не объясняет все вещи, необходимые для этого». Далее он в деталях приводит анатомическую связь между глазами и мозгом.

Анатомическое вступление нужно Бэкону чтобы далее изложить общепринятые в то время представления о расположении тех или иных чувственных способностей в камерах и долях мозга.

Переходя конкретно к зрительным ощущениям, Бэкон утверждает, что визуальные суждения не завершены до того, как образы попадут в общее чувство. Это чувство формирует суждения относительно многообразия зрительных впечатлений, как, например, что молоко обладает белизной. По Бэкону, общее чувство судит действия частных чувств, при этом не сохраняя впечатлений на длительное время: для зрения не сохраняя того, что виделось, для слуха — того, что слышалось. Для этого нужна иная способность. Финальная акция общего чувства есть получение образов, идущих от частных чувств, и комплектование полного суждения. Но оно не удерживает этих впечатлений, что Бэкон объясняет «чрезвычайной скользкостью его собственного органа в соответствии с I книгой „De anima“ Авиценны». Следовательно, должна быть иная способность души в задней части первой ячейки, функцией которой было бы сохранение образов, пришедших от частных чувств. Она должна обладать «умеренной влажностью и некоторой сухостью» и называется *воображением*, являясь хранилищем и репозитарием общего чувства.

Совокупность общего чувства и воображения, расположенных в первой ячейке, как единое целое называется *фантазией* (*virtus phantastica*). Фантазия включает в себя обе способности и не отличается от них никак, кроме как общее от части. Следовательно, по Бэкону, если общее чувство получает образы, а воображение сохраняет их, полное суждение, следующее относительно рассматриваемой вещи, формируется фантазией.

В соответствии с усовершенствованной Аверроэсом аристотелевской системой постижения мира чувствительной душой определяются 29 восприимчивостей («чувствительностей»), относительно которых свои суждения выносят воображение, общее чувство и любые частные чувства. Так, зрение судит относительно света и цвета, прикосновение — относительно горячего или холодного, влажного или сухого, слух — относительно звуков, обоняние — относительно ароматов, вкус — относительно привкусов. Далее рассматриваются 20 других чувствительностей, опирающихся только на зрение, но требующих более тонкого анализа. Эту двадцатку он перечисляет в следующем порядке: дистанция, позиция, вещественность, фигура, величина, протяженность, дискретность (отделенность), число, движение, покой, шероховатость, гладкость, прозрачность, толщина, темнота, затененность, красота и уродство, а также подобие и различие во всех этих вещах и во всех вещах, соединенных с ними. Указывается на несколько других, которые

подчинены одной или нескольким перечисленным, например порядок подчинен позиции, письмо и живопись — фигуре и порядку. Следующие примеры — это прямизна и кривизна, вогнутость и выпуклость, которые подчинены фигуре, а множество и немногочисленность подчинены числу. Равенство, уменьшение и увеличение подчинены подобию и различию, а «рвение, смех и уныние определяются по форме лица вместе с пролитием слез». Бэкон не оригинален в этих рассуждениях, что сам признает, ссылаясь не только на христианские, но и на античные авторитеты. Говоря о чувствительностях, которые редуцируются до зрительных образов и перечисленных выше главных характеристик, свойственных видимым вещам, он упоминает об объяснениях по этому поводу, данных в первой книге «Оптики» Птолемея и во второй книге «Сокровища оптики» Альхазена. Есть в этом разделе упоминания и о других авторах оптических трудов.

В схоластической традиции было необходимо провести различие между анализом зрительных впечатлений чувствительной души человека и животных, которые, не имея боговдохновенной души, иногда имеют глаза более сложные и зоркие, чем человек. Механизм зрения животных, по Бэкону, отличается тем, что последние пользуются только чувством, поскольку не имеют интеллекта. Приводимый им классический пример — овца, которая сразу убегает от волка, даже если никогда его не видела, и так же, как «любое животное, боится рычания льва, даже если никогда раньше его не слышала и не видела».

Даже если ягненок никогда не видел другого ягненка, продолжает рассуждения Бэкон, «они бегут друг к другу и охотно остаются друг с другом, и это же верно для других животных». Животные, следовательно, имеют некоторое восприятие вещей полезных и вредных для них самих. Бэкон доказывает, что некие чувствительности в них есть, кроме тех двадцати девяти, отмеченных выше, и кроме тех, к каким они были редуцированы. Для этого необходимо определить некие дополнительные активности и возможности вызывать изменения в чувствующем теле под действием, например, света и цвета.

Согласие или несогласие одного с другим, гармоничные или диссонансные сочетания, по Бэкону, «производят сильные образы, которые сильно изменяют чувствительную душу так, что она переходит в состояния боязни, ужаса, или напротив, благости и покоя». Именно такого сорта зримые образы или силы, исходя от вещей, изменяют и частные чувства (слух, зрение, обоняние), и общее чувство, и воображение, так, как они делают это с воздухом, через который проходят. Но Бэкон уверен, что все же ни одна из этих способностей души не может судить относительно этих специальных впечатков. Для этого необходима гораздо более благородная и более сильная способность чувствительной души, которая называется *суждением* и на которую указал Авиценна в первой книге трактата «О душе». Способность эта сохраняет потерявшие чувствительность формы, соединенные с чувствительной материей.

Но ведь суждение не удерживает, не сохраняет образы, хотя и получает их так же, как и общее чувство. Поэтому постулируется требование еще одной способности в отдаленной, отдельной от других частей ячейке для

хранения образов, присоединенной к способности суждений и являющейся их хранилищем и репозитарием, так же как воображение есть хранилище общего чувства. Именно эта способность получает название *memoria* — памяти, не потому, что она пользуется услугами рассуждений, но потому, что она есть конечное животное совершенство, как и резоны у людей.

В Средние века считалось, что рациональная душа в человеке соединена прямо с памятью. А у животных с помощью этой способности делаются многие фантастические вещи: паук плетет изящную геометрическую сеть, пчела делает свой гексагональный домик, ласточка плетет свое округлое гнездо.

Бэкон утверждает, что посредством этой способности человек видит красивые вещи в своих мечтах, и все способности — предшествующие и последующие — чувствительной души «обслуживают ее и подчиняются ей, так как все они существуют на пользу ей». Здесь Бэкон частично выходит за рамки рассуждений о физическом зрении, для образов, находящихся в воображении, он постулирует «умножение самих себя в когнитивной, интеллектуальной способности». В этом месте Бэкон, как истинный монах-доминиканец, не мог не упомянуть о возможности порождения воображаемых образов и сверхчувственным путем, через откровение или озарение. С другой стороны, когда эта интеллектуальная способность ослабляется, причинное суждение может искажаться. Человек будет видеть то, чего нет в действительности, или не замечать того, что очевидно присутствует. Такие зрительные аберрации уже не будут связаны с несовершенством глазного аппарата, но станут следствием расстройства распознавательных способностей поврежденного интеллекта.

АЛЬХАЗЕН ОБ ИНСТРУМЕНТЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

«Сокровище оптики», книга VII, раздел 2. Альхазен начинает с перечисления прозрачных сред: «Когда свет проходит сквозь воздух, то его распространение происходит по прямым линиям, как показано в первой книге этой работы. Однако воздух есть только одна из прозрачных субстанций. Свет также проходит через воду, стекло и прозрачные камни, и в них он также распространяется по прямым линиям». И лишь затем переходит к описанию инструмента для наблюдения эффекта преломления: «Если кто-то хочет попробовать это, пусть он возьмет круглую бронзовую пластинку, не менее одного кубита (локтя, *лат.* cubitus, ок. 45 см) в диаметре и толщиной, обеспечивающей должную крепкость (жесткость). Она должна иметь круглый обод, перпендикулярный ее поверхности, высотой не менее двух пальцев (ок. 4 см). Посередине обратной стороны перпендикулярно ее поверхности следует укрепить маленькое цилиндрическое тело, не менее трех пальцев длиной».

Интересно, что Альхазен подробно описывает не только само устройство, но и технологические приемы его изготовления. В частности, он предлагает определенные операции по приданию частям устройства нужной формы: «...расположим этот инструмент на токарном станке, на котором токарь придаст форму медным инструментам. Одну точку станка надо укрепить в центре пластины, а другую — на конце тела, вмонтированного в спинку. Затем нужно скрести этот инструмент путем вращения с подходящим абразивом до придания круглости его ободу, внутри и снаружи, в этом надо убедиться. Внутренняя и внешняя поверхности должны быть плоскими и обе поверхности параллельны. Мы также должны обработать оборотную сторону пластины до тех пор, пока она не станет круглой».

Далее следует описание методики разметки угловой шкалы прибора, обеспечения его базовой системы координат: «Когда этот инструмент будет закончен полировкой, мы отметим два диаметра на его внутренней поверхности, пересекающих его центр под прямым углом (см. рис. 18.2). Затем мы отметим точку на дне (на образующей) обода, на толщину пальца от конца

одного из диаметров. От этой точки мы проведем третий диаметр, проходящий через центр пластины и продолженный до края самой пластины. От двух концов третьего диаметра (точки I и G) мы проведем две линии (IH и GK) на поверхности обода инструмента, перпендикулярно поверхности пластины».

Заметим, что пропорции рисунка искажены для того, чтобы показать все части аппарата. Концентрические круги, проходящие через точки L , M и N , представляют собой круглые желобки или царапины, сделанные на ободке, установленном перпендикулярно диску. Последний представлен самым внутренним кругом. Таким образом, линии IH и GK в действительности перпендикулярны диску и параллельны одна другой.

Далее происходит деление дуги на четыре равных сегмента (GO , OP , PQ и QK). Длина каждого из этих сегментов рекомендуется величиной «в половину ячменного зерна». Таким образом, на этой перпендикулярной линии возникают три точки, являющиеся концами этих линейных сегментов. Затем в инструкции Альхазена говорится о возвращении инструмента на токарный станок и разметке трех параллельных кругов (LO , MP и NQ), которые проходят через три точки перпендикуляра в конце диаметра. Другой перпендикуляр, со второго конца этого диаметра, также разбивается этими тремя кругами, и три точки отмечаются на нем. На каждом круге возникают две противоположные точки, являющиеся концами соответствующих диаметров. Затем Альхазен описывает деление середины этих трех кругов на 360° и, если возможно, на минуты. Формируется круглое отверстие в ободке инструмента, центр которого — в середине трех точек на линии, перпендикулярной концам диаметра пластины. Его радиус равен по величине расстоянию между кругами, и, таким образом, само отверстие оказывается между двумя внешними параллельными кругами. Альхазен также описывает еще два круглых отверстия, представленных на рисунке 18.2 малыми кругами с центрами в точках M и P .

Круглая пластина в приборе Альхазена должна быть дополнена квадратной, почти как в аналогичной по конструкции астролябии: «После этого мы берем тонкую квадратную пластину средней толщины и длиной, равной высоте обода инструмента, и шириной примерно с него (см. рис. 18.3). Ее бо́льшая поверхность делается такой плоской, как только возможно. И также ее боковая поверхность, которая приходится вдоль одного из ее концов, до тех пор, пока общая разница между ее лицевой поверхностью и поверхностью ее толщины составит прямую линию» (RS). На этой квадратной пластине также нужно нанести угломерную шкалу: линия RS делится на две равные части, и через середину проводится прямая линия на лицевой поверхности, перпендикулярно RS , которую еще называют «общей разницей». Затем этот перпендикуляр делится на четыре равные части, и короткими линиями на ободке пластины отмечаются три точки (X , Y и Z) на лицевой части малой (круглой) пластины. Потом малая пластина прокалывается так, что образуется круглое отверстие (апертура), центр которого есть средняя точка из трех описанных выше, а радиус равен любой из тех коротких линий. Соответственно это отверстие оказывается равным отверстию на ободке или цилиндрическом крае круглой пластины.

Следующая операция, описанная Альхазеном, — это совмещение координатных сеток обеих пластин: «На диаметре круглой пластины, на концах которого имеются две перпендикулярные линии, мы отмечаем точку (T , см. рис. 18.2) на середине расстояния между центром и концом диаметра, продолженного вперед к отверстию. Через эту точку мы проведем линию, перпендикулярную диаметру. Затем мы размещаем основание малой пластины на этой линии так, что общая разность малой пластины накладывается на эту линию, перпендикулярную диаметру. Тогда точка, которая делит общую разность на малой пластине на две равные части, размещается над точкой (T), отмеченной на диаметре пластины. Когда все это выполнено, малая пластина прикрепляется к большой с помощью полного соединения. Отверстие на малой пластине совпадает с отверстием на ободе инструмента».

Заметим, что две последние апертуры, одного размера и «аккуратно выровненные», как пишет Альхазен, как раз и служат в качестве визирного приспособления.

Такой безлинзовый диоптр — еще одна деталь, объединяющая описываемый инструмент с конструкцией астролябии.

Воображаемая визирная линия инструмента, которая соединяет центры двух отверстий в промежуточной плоскости трех кругов, нанесенных на внутренней поверхности обода инструмента, будет параллельна диаметру пластины. Малая пластина, приложенная к точке, становится как бы ободом астролябии. Когда все это совершено, от четырех отдельных четвертей между первыми двумя перпендикулярными диаметрами отрезается четверть, соседняя с той, которая содержит отверстие. Целью удаления этой четверти является обеспечение наблюдателю проведения измерений без помех. Только в этом случае удастся визировать направления изнутри оставшейся части обода.

Альхазен добавляет, что «место этой части обода выравнивается до тех пор, пока оно не станет единой плоскостью с поверхностью всей пластины».

Затем начинаются операции по сборке всей конструкции инструмента. Альхазен рекомендует взять медный стержень не менее одного локтя длины квадратного сечения с четырьмя равными поверхностями, шириной в два пальца. Как пишет автор, этот стержень «максимально выравнивают до равенства и формирования прямых углов» (см. рис. 18.2). В одной из поверхностей просверливается отверстие такого размера, который позволит стержню вращаться «не свободно, но с усилием». Альхазен уточняет, что «это отверстие должно быть перпендикулярным поверхности стержня и должно проходить насквозь». Инструмент размещается на стержне, и ось инструмента должна входить в отверстие в середине стержня до соприкосновения поверхности инструмента и поверхности стержня. Когда все это проделано, излишние концы стержня отрезаются, причем оба отрезка автор рекомендует использовать как стопоры по концам стержня.

Как выясняется из последующего текста, стержень нужен для поддержания диска в вертикальной плоскости и для того, чтобы позволить поместить его в прямоугольный сосуд с водой. Два отрезка «избыточной длины», выходящие за круглый диск, устанавливаются на сторонах сосуда. Поскольку отверстие в стержне ниже этих упоров, возможно подвесить диск таким способом, что его центр придется точно на поверхность воды.

Далее следует подробное описание устройства специальной поворотной линейки, с помощью которой и будут отмечаться позиции падающего и преломленного лучей. Поскольку это есть ключевой элемент конструкции, приведем его описание почти без купюр: «И пусть экспериментатор возьмет узкую медную линейку толщиной, равной диаметру этого отверстия, и длиной не менее половины локтя. Эта линейка должна быть совершенной, очень прямой и правильной, и ее поверхности ровные и параллельные. Мы обрежем одну из сторон ее ширины наклонно так, чтобы край ее длины и край ее ширины составляли острый угол, так что любой мог бы легко поворачивать и двигать, как он захочет... Затем мы разделим эту ширину на две равные части и в месте деления начертим линию на лицевой поверхности линейки. Эта линия продолжается вдоль длины линейки и перпендикулярна ее ширине. Когда эта линейка размещается на поверхности пластины, ее верхняя поверхность окажется в средней плоскости тех трех кругов, которые нанесены на внутренней стороне обода инструмента. Толщина этой линейки равна диаметру отверстия, а он равен поперечному выступу из центра отверстия в обод инструмента к поверхности пластины, потому диаметр отверстия равен двум из трех малых линий-сегментов, отмеченных... на внутренней стороне обода инструмента. Таким образом, когда эта линейка укреплена на ободке и поверхность ее ширины лежит на поверхности пластины, линия, отмечающая ее середину, будет в плоскости вышеупомянутого среднего круга...».

Эта медная линейка нужна для отметки различных позиций света, падающего через апертуры в ходе реальных экспериментов. Например, она может использоваться для определения точки на поверхности воды, на которую свет падает через верхнюю пару отверстий и преломляется, или для позиционирования диска с его центром точно на поверхности воды. К сожалению, разъяснение самого Альхазена относительно использования диска и вспомогательного оборудования слишком многословно для того, чтобы быть приведенным здесь. Но из его описания вполне ясно, как в принципе можно измерить углы падения и преломления. Если солнечный свет проходит сквозь верхнюю пару апертур и преломляется на поверхности воды, пятно света будет воспринято погруженной в воду частью обода. Углы могут быть затем определены путем отметок на среднем из трех кругов, выгравированных внутри обода. Дополнительные детали о методах использования предложенного устройства можно найти в работе Алистера Кромби, посвященной началам экспериментальной науки [156].

Альхазен прибавляет некоторое число впечатляющих деталей, которые не оставляют сомнений в его компетентности как экспериментатора. Так, например, он советует, чтобы игла была размещена над серединой апертуры, через которую солнечный свет входит в прибор. В этом случае результирующая тень в середине пятна преломленного света на внутренней части обода обеспечивает большую точность измерений. Очевидно, что это не что иное, как прообраз будущих нитяных или проволочных визиров всех диоптрийных трубок XVII в.

3

ИБН ЗАЛ О ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ДЛЯ ЗАЖИГАНИЯ

Ниже приводится перевод фрагмента второй части трактата Ибн Зала «Книга о зажигательных приборах», посвященного плосковыпуклой и двояковыпуклой линзам [304]. Начальное обращение адресовано одному из багдадских халифов.

Во имя Господа милосердного и сострадательного, у Него прошу помощи. Король, Меч государства и Солнце общества, по праву считается тем, кто знает в силу своего положения величие милости, которую он оказывает распространением наук, что прославляет его среди людей и прибавляет ему ценности в их глазах, и пусть тот, кто их изучает, сможет наилучшим образом использовать эти знания и получит от этого пользу, и пусть такой человек служит в этой области, используя все способы, которые найдет, чтобы частично отблагодарить за эту милость.

...Я уже провел некоторое время в глубинных поисках истины о том, что приписывалось ученым в отношении возможности поджигать светом предмет с дальнего расстояния и что связано с Архимедом и поджиганием вражеских кораблей с помощью такого рода устройств; я также изучил все случаи, связанные с этой темой, и детально исследовал их, и я обратился по этому вопросу к тому, что я нашел в книгах древних, и сделал выписки того, что в них содержалось, а именно: описание поджигания близкого предмета с помощью света, отраженного зеркалом. Затем я продолжил изучение того, что не содержится в этих книгах, и даже пришел к описанию поджига с помощью солнечного света [который проходит сквозь прибор и преломляется в воздухе].

Если воспламенение создается с помощью пучка света, который проходит через прибор, тогда мы используем кусок стекла, ограниченного ровной поверхностью, которую мы назовем C (см. рис. 18.12). Необходимо, чтобы размер был таким, какой нам нужен, и чтобы его части были одинаково прозрачны. Проведем две прямые, из которых по одной свет проходит через

стекло, и назовем ее CD , и по второй свет преломляется в воздухе, и назовем ее CE . Нарисуем плоскость CDE , и пересечением между ней и плоскостью C пусть будет прямая FCG . Таким образом, два угла — DCF и ECG — являются острыми, а меньшим из них является угол ECG . Проведем отрезок CH , как продолжение отрезка CD , и обозначим на отрезке CH точку H . Нарисуем отрезок GH перпендикулярно отрезку CG так, чтобы он пересекал отрезок CE в точке E . Таким образом, отрезок CE короче, чем отрезок CH . Отмерим на отрезке CH отрезок CI , равный отрезку CE , разделим отрезок HI пополам точкой J . Пусть отношение отрезка AK к отрезку AB будет равно отношению отрезка CI к отрезку CJ . Нарисуем отрезок BL , как продолжение отрезка AB , сделав его равным отрезку BK . Таким образом, лучи, исходящие из одной точки на поверхности светящегося тела и достигающие поверхности прибора, являются либо параллельными для восприятия, либо непараллельными.

Если лучи, распространяющиеся из одной точки светящегося тела до поверхности прибора, являются параллельными для восприятия, тогда они могут вызвать возгорание либо на малом, либо на большом расстоянии (см. рис. 18.13): так, если речь идет о возгорании на малом расстоянии, то мы отмеряем отрезок BM , равный отрезку AK , рисуем отрезок $BN = ML$ перпендикулярно отрезку AB и помещаем... четыре раза отрезок BL на прямую LM . Намечаем гиперболу, осью которой является прямая BM , а ее *latus rectum* — прямая BN , и которая начинается в точке B и заканчивается в точке S . Далее рисуем отрезок SO перпендикулярно отрезку BL , намечаем отрезок BO и вокруг него вращаем плоскость, ограниченную дугой BS и двумя отрезками — BO и SO , пока точка S не наметит окружность SP и не образуется тело BS .

Тогда мы моделируем такую же фигуру с двумя вершинами, одна из которых находится рядом с окружностью SP , а в ее центре находится отверстие, ограниченное кругом, а другая находится рядом с точкой B , и в ее центре находится круг, в который поступает солнечный свет, который прошел через отверстие до этой точки. Прямая, проходящая через центр обоих кругов, параллельна прямой BL , и это тело состоит из той же материи, с которой мы работали. Наметим на одной из вершин дополнительную деталь, чтобы зафиксировать ее, и отполируем тело, за исключением двух вершин и того, что находится между ними. Необходимо, чтобы солнечный свет, если он проходит через всю поверхность O , достигая всей поверхности B , за исключением двух вершин и того, что находится на них, и через всю поверхность B за исключением этого положения до точки A , загорался в этой точке.

Затем мы подставляем это самое тело под солнце так, чтобы свет проникал через отверстие до круга; я говорю, что солнечный свет проникает со всей плоскости O до всей поверхности B за исключением двух вершин и того, что находится на них, и через всю поверхность B за исключением этого положения до точки A , и загорается в этой точке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Апполонов, А. В.* Латинский аверроизм XIII века. — М. : Красанд, 2011. — 160 с. — (Bibliotheca Scholastica).
2. *Барабаш, И.* Свет в камне // Человек без границ. — 2007. — № 6. — С. 6–15.
3. *Бенц, Э.* Цвет в христианских видениях : пер. с англ. // Психология цвета. — М., 1996. — С. 79–130.
4. *Бёме, Я.* Аврора, или Утренняя заря в восхождении... — М. : Амфора, 2008. — 512 с. — (Александрийская библиотека).
5. *Бируни, А.* Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия) / пер. А. М. Беленицкого. — М. : Изд-во АН СССР (Ленингр. отд.), 1963. — 518 с.
6. *Бируни, А.* Канон Мас'уда. Избранные сочинения : в 2 ч. — Ташкент : Фан, 1973–1976, 1987. — Т. 7 : Математические и астрономические трактаты.
7. *Бородай, Т. Ю.* Рождение философского понятия. Бог и материя в диалогах Платона. — М. : Издатель Савин С. А., 2008. — 284 с.
8. *Будур, Н.* Викинги: пираты севера. — М. : Олма-пресс, 2005. — 319 с. — (Мировая история).
9. *Бэкон, Р.* Избранное. — М. : Изд-во францисканцев, 2005. — 480 с. — (Францисканское наследие).
10. *Вавилов, С. И.* Глаз и Солнце. — М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1939. — 96 с.
11. *Вудс, Т.* Как католическая церковь создала западную цивилизацию / пер. с англ. В. Кошкина. — М. : ИРИСЭН : Мысль, 2010. — 280 с. — (История).
12. *Гален, К.* О назначении частей человеческого тела / пер. С. П. Кондратьева. — М. : Медицина, 1971.
13. *Глазычев, В. Л.* Гемма Коперника. Мир науки в изобразительном искусстве. — М. : Сов. худ., 1989. — 414 с.
14. *Гордеев, Г.* Неприступная реликвия // Тайны XX века. — 2005. — № 2. — С. 2.
15. *Григорьян, А. Т.* Механика и астрономия на средневековом Востоке / А. Т. Григорьян, М. М. Рожанская. — М. : Наука, 1980. — 200 с. — (История науки и техники).
16. *Гроссетест, Р.* О свете, или О начале форм / пер. А. М. Шишкова // Вопросы философии. — 1995. — № 6. — С. 125.
17. *Грюнбаум, Г. Э.* Классический ислам (600–1251 гг.). Очерк истории. — М. : Наука, 1988.
18. *Гуревич, А. Я.* Культура и общество средневековой Европы глазами современников. — М. : Искусство, 1989. — 367 с.
19. *Гуриков, В. А.* Развитие технической оптики как теоретической базы оптического приборостроения // Техника в ее историческом развитии. — М. : Наука, 1982. — С. 365–374.
20. *Гуриков, В. А.* История прикладной оптики. — М. : Наука, 1993. — 176 с.
21. *Гуриков, В. А.* История очков: шаг за шагом // Мир оптики. — 1997–2003.
22. *Делорм, Ж.* Основные события Средневековья / пер. с фр. Е. В. Шукшиной. — М. : Астрель ; АСТ, 2004. — 160 с. — (Cogito, ergo sum: Университетская библиотека).
23. *Джонс, Г.* Викинги. Потомки Одина и Тора / пер. с англ. З. Ю. Метлицкой. — М. : Центрполиграф, 2004.
24. *Добиаш-Рождественская, О. А.* Духовная культура средневекового Запада. — М. : КомКнига, 2010. — 224 с. — (Академия фундаментальных исследований: история).
25. *Дорфман, Я. Г.* Всемирная история физики: с древнейших времен до конца XVIII века. — М. : КомКнига, 2007. — 352 с.
26. *Дулуман, Е. К.* Туринская плащаница: историческая правда вместо «чудес» вокруг да около [Электронный ресурс]. — Электронные дан. — Режим доступа: <http://www.skeptik.net/miracles/turin.htm>.
27. *Жильсон, Э.* Философия в Средние века. — М. : Культурная революция ; Республика, 2010. — 678 с.

28. *Жмудь, Л. Я.* Техническая мысль в Античности, Средневековье и Возрождении // Очерки истории технических наук. — СПб.: ИИБиТ им. С. И. Вавилова С.-Петерб. фил. РАН, 1995. — Ч. 1. — 72 с.
29. *Зубов, В. П.* Физические идеи древности, Средневековья, Ренессанса // Очерки развития основных физических идей. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 11–155.
30. *Зубов, В. П.* Капоптрика XVI и XVII веков // Из истории мировой науки. Избранные труды 1921–1963. — СПб.: Алетейя, 2006. — С. 59–82.
31. *Ианноне, Дж.* Тайна Туринской плащаницы. Новые научные данные / пер. с англ. Н. Власовой. — СПб.: Амфора, 2005. — С. 12–40.
32. Интеллектуальные традиции Античности и Средних веков / сост. и общ. ред. М. С. Петровой; пер. с лат. и примеч. Т. Ю. Бородай. — М.: Кругъ, 2010. — 736 с.
33. *Дамаскин, И.* Три слова в защиту иконопочитания / пер. с греч. А. Бронзова. — СПб.: Азбука-классика, 2008. — 192 с.
34. *Севильский, И.* Этимологии, или Начала: в 20 кн. — СПб.: Евразия, 2006. — Кн. I–III: Семь свободных искусств / пер. с лат. Л. А. Харитонова. — 352 с.
35. *Калюжный, Д.* Линзы для глаз // Загадки истории. — 2013. — № 25. — С. 14–15.
36. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники. — М.: Наука, 1986. — 512 с. — (Наука. Мирозозрение. Жизнь).
37. Колдовство в Средние века / пер. с англ. Н. Масловой. — СПб.: Азбука-классика, 2005. — 432 с.
38. *Кольцов, И. Е.* Русская Атлантида. К истории древних цивилизаций и народов. — М.: Алгоритм, 2012. — 287 с.
39. *Кун, Т.* Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1977. — 146 с.
40. *Куртик, Г. Е.* Астрономия стран ислама. История науки и техники. — 2003. — № 9. — С. 47–59.
41. *Кусов, В. С.* История геодезических инструментов. — М.: Дизайн. Информация, Картография, 2009. — 255 с.
42. *Ле Гофф, Ж.* Интеллектуалы в Средние века / пер. с фр. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. унта, 2003. — 106 с.
43. *Ле Гофф, Ж.* Рождение Европы / пер. с фр. А. И. Поповой. — СПб.: Александрия, 2008. — 398 с. — (Становление Европы).
44. *Лолор, Р.* Сакральная геометрия. Философия и практика. — М.: Энигма, 2010. — 112 с.
45. *Лосев, А. Ф.* История античной эстетики. Итоги тысячелетнего развития. — М.: Искусство, 1992.
46. *Льоцци, М.* История физики / пер. с итал. — М.: Мир, 1970. — 464 с.
47. *Майоров, Г. Г.* Формирование средневековой философии: Латинская патристика. — М.: Книж. дом «Либроком», 2009. — 296 с.
48. *Малинаускене, Н. К.* Семантика зрения-свечения в Античности // Из истории античной культуры. — М., 1976. — С. 18–30.
49. Манускрипт Теофила «Записка о разных искусствах» / пер. А. А. Морозова // Сообщ. Центр. науч.-исследоват. лаб. по консервированию и реставрации музейных художественных ценностей. — М., 1963. — Вып. 7. — С. 101–117.
50. Манускрипт Теофила «Записка о разных искусствах» // Витражи в России [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://vitroart.ru/articles/articles/210/>.
51. *Марцеллин.* Римская история / пер. с лат. Ю. А. Кулаковского, А. И. Сонни; под ред. Л. Ю. Лукомского. — СПб.: Алетейя, 1994. — 558 с. — (Античная библиотека).
52. *Марчукова, С. М.* Естественнонаучные представления в средневековой Европе. — СПб.: Европейский дом, 1990. — 192 с.
53. *Матвиевская, Г. П.* Математики и астрономы мусульманского Средневековья и их труды (VIII–XVII вв.): в 3 т. / Г. П. Матвиевская, В. А. Розенфельд. — М.: Наука, 1983.
54. *Мельшиор-Бонне, С.* История зеркала / пер. с фр. Ю. М. Розенберг. — М.: Новое литературное обозрение, 2005. — 456 с. — (Культура повседневности).
55. *Минухин, Е.* Витражное искусство // Архитектура СССР. — 1954. — № 6. — С. 27–30.
56. *Муратов, П.* Образы Италии. — СПб., 1912.
57. *Кузанский, Н.* Сочинения: в 2 т. / общ. ред. и вступ. ст. З. А. Тажуризиной; пер. с лат. В. В. Вибихина [и др.]. — М.: Мысль, 1979. — (Философское наследие).
58. *Орлов, Н. В.* Представления о свете и зрении в древности и на средневековом Востоке // Вопросы истории естествознания и техники. — 1975. — Вып. 49. — С. 50–51.
59. *Пановский, Э.* Перспектива как «символическая форма». Готическая архитектура и схоластика / пер. с нем. И. Хмелевских, Е. Козиной; пер. с англ. Л. Житковой. — СПб.: Азбука-классика, 2004. — 340 с. — (Художник и знаток).
60. *Паранина, Г. Н.* Свет в лабиринте: географическое пространство, время, информация. — СПб.: Астерион, 2010. — 124 с.

61. *Порталь, Ф.* Символика цвета от Античности до Нового времени // Античный хроматизм. — СПб.: Лисс, 1995. — С. 367–436.
62. *Правдивцев, В. Л.* Эти загадочные зеркала... — М.: РИЦ МГК, 2004. — 576 с.
63. *Райс, Т. Т.* Византия. — М.: Центрополиграф, 2006. — 255 с.
64. *Реале, Дж.* Западная философия от истоков до наших дней / Дж. Реале, Д. Антисери. — СПб., 1994.
65. *Рожанская, М. М.* Механика на средневековом Востоке. — М.: КомКнига, 2010. — 328 с. — (Физико-математическое наследие: физика (история физики)).
66. *Розенбергер, Ф.* История физики: в 4 кн. — М.: Книж. дом «Либроком», 2010. — Кн. 1: История физики в древности и в Средние века / пер. с нем., под ред. И. М. Сеченова. — 152 с. — (Физико-математическое наследие: физика (история физики)).
67. *Розенфельд, Б. А.* Астрономия стран Ислама // Историко-астрономические исследования. — М.: Наука, 1984. — Вып. XVII. — С. 67–122.
68. *Розенфельд, Б. А.* Аполлоний Пергский. — М.: Изд-во МЦНМО, 2004. — 176 с.
69. *Румовский, С. Я.* Рассуждение о началах и приращении оптики. — СПб., 1764.
70. *Свешников, М.* Тайны стекла. — Л.: Детгиз, 1955.
71. *Серов, Н. В.* Античный хроматизм. — СПб.: Лисс, 1995. — 476 с.
72. *Синкевич, В. А.* Феномен зеркала в истории культуры. — СПб., 2006. — 66 с.
73. *Сойфер, В.* Туринская плащаница и современная наука // Континент. — 2003. — № 117. [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://magazines.russ.ru/continent/2003/117/s22.html>.
74. *Старцев, П. А.* Очерки по истории астрономии в Китае. — М.: Физматгиз, 1961.
75. *Стафеев, С. К.* Пять тысячелетий оптики: предыстория / С. К. Стафеев, М. Г. Томилин. — СПб.: Политехника, 2006. — 305 с.
76. *Стафеев, С. К.* Пять тысячелетий оптики: Античность / С. К. Стафеев, М. Г. Томилин. — СПб.: ФормаТ, 2010. — 528 с.
77. *Стафеев, С. К.* От греческой Оптике к латинской Перспективе / С. К. Стафеев, М. Г. Томилин // История оптики и современность: материалы Междунар. историко-науч. симпоз., СПб., 28–30 октября 2013 г. — СПб.: Изд-во НИУ ИТМО, 2013. — С. 75–76.
78. *Таннери, П.* Исторический очерк развития естествознания в Европе (с 1300 по 1900 г.). — М.; Л.: Гостехиздат, 1934.
79. *Томилин, М. Г.* История камеры-обскуры // Советское фото. — 1974. — № 1. — С. 42–43.
80. *Томилин, М. Г.* Так начиналась фотография // Фотомагазин. — 1998. — № 1–2. — С. 84–86.
81. *Томилин, М. Г.* Глаз и линза через призму тысячелетий // Известия вузов. Приборостроение. — 2011. — Т. 55, № 3. — С. 70–79.
82. *Томилин, М. Г.* Первые линзы древних / М. Г. Томилин, О. Я. Неверов, Дж. Сайнс // Оптический журнал. — 1997. — Т. 64, № 11. — С. 96–103.
83. *Томилин, М. Г.* Сувенир из Мурано / М. Г. Томилин, С. К. Стафеев // Машины и механизмы. — 2006. — № 117. — С. 28–36.
84. *Томилин, М. Г.* Солнечный камень викингов / М. Г. Томилин, С. К. Стафеев // Машины и механизмы. — 2008. — № 3. — С. 14–21.
85. *Томилин, М. Г.* Изобретение очков: дар Божий или дьявольское наваждение? / М. Г. Томилин, С. К. Стафеев // История оптики и современность: материалы Междунар. историко-науч. симпоз., СПб., 28–30 октября 2013 г. — СПб.: Изд-во НИУ ИТМО, 2013. — С. 78–79.
86. *Трубецкой, Е.* Два мира в древнерусской иконе // Философия русского религиозного искусства XVI–XX вв.: антол. — М.: Прогресс: Культура, 1993. — С. 220–246.
87. *Уколова, В. И.* Античное наследие и культура раннего Средневековья. Конец V — середина VII в. — М.: Изд-во ЛКИ, 2010. — 320 с. — (Академия фундаментальных исследований: история).
88. *Урлауб, И. Я.* Очерк истории оптики и истории оптического производства в России. — СПб., 1899. — 50 с.
89. *Успенский, Ф. И.* Путевые записки Вениамина из Туделы // Анналы. — Петроград, 1923. — № 3. — С. 5–20.
90. *Успенский, Ф. И.* Очерки по истории византийской образованности. История Крестовых походов / сост. И. В. Ушаков. — М.: Мысль, 2001. — 442 с.
91. *Фараби, М.* Слово о классификации наук // Аль-Фараби. Философские трактаты. — Алма-Ата: Наука, 1972. — 430 с.
92. Философия: энциклопедический словарь / под ред. А. А. Ивина. — М.: Гардарики, 2004. — 1072 с.
93. *Фильштинский, И. М.* История арабов и Халифата (750–1517 гг.). — М.: АСТ; Восток-Запад, 2006. — 352 с.

94. *Фильштинский, И. М.* Очерк арабо-мусульманской культуры (VII–XII вв.) / И. М. Фильштинский, Б. Я. Шидфар. — М. : Наука, 1971. — 259 с.
95. *Флоренский, П. А.* Иконостас. — М. : Искусство, 1994. — 255 с.
96. *Фокин, А. Р.* Христианский платонизм Мария Викторина. — М. : Империиум Пресс, 2007. — 254 с.
97. *Фосье, Р.* Люди Средневековья / пер. с фр. А. Ю. Карачинского, М. Ю. Некрасова, И. А. Эгипти. — СПб. : Евразия, 2010. — 352 с.
98. *Фуртай, Ф.* Записки средневекового масона. Альбом Виллара де Оннекура. — СПб. : Алетейя, 2008. — 248 с. — (Б-ка Средних веков).
99. *Харитонов, Л. А.* Исидор Севильский. Историко-философская драма. Эпизодий 6 // Исидор Севильский. Этимологии, или Начала : в XX кн. — СПб. : Евразия, 2006. — Кн. I–III : Семь свободных искусств. — С. 208–216.
100. *Хэйзинга, Й.* Осень Средневековья : в 3 т. / пер. с нидерл. — М. : Прогресс ; Культура, 1995. — Т. 1. — 416 с.
101. *Чулков, О. А.* Живые зеркала. Мифология и метафизика отраженного образа // Academia. — 2000. — Вып. 3. — С. 192–214.
102. *Швечиков, А. Н.* Религия, философия и наука в западной цивилизации. — СПб. : ИПЦ С.-Петербур. гос. ун-та технологии и дизайна, 2006. — 192 с.
103. *Шишков, А. М.* Средневековая интеллектуальная культура. — М. : Издатель Савин С. А., 2003. — 592 с.
104. *Штаерман, В. Л.* Зеркало Архимеда // Вселенная и мы. — 2001. — № 4. — С. 112–114.
105. *Эко, У.* Искусство и красота в средневековой эстетике / пер. с итал. А. П. Шурбелева. — СПб. : Алетейя, 2003.
106. *Эко, У.* Эволюция средневековой эстетики / пер. с итал. Ю. Н. Ильина ; пер. с лат. А. С. Струковой. — СПб. : Азбука-классика, 2004. — 288 с.
107. *Юшкевич, А. П.* История математики в Средние века. — М. : Физматгиз, 1961. — 448 с.
108. *Яньшин, П. В.* Метафизика света и цвета // Христианство и культура : материалы конф. — Самара : СамГПУ, 2000. — С. 277–285.
109. *Abat, V.* Amusements philosophiques sur diverses parties des sciences et principalement de la Physique et des Mathématiques. — Amsterdam, 1763.
110. *Abulfedha.* Discriptio Aegypti. — Gottinga, 1770.
111. *Abrégé des Merveilles* / trad. B. Carra de Vaux // Acts de la Société philosophique, XXVI. — Paris, 1897. — P. 282.
112. *Aguilonius, F.* Opticorum libri sex. — Antwerpen : Plantin, 1613.
113. *Ahlström, O.* Swedish Vikings used Optical Lenses // The Optician. — 1950. — P. 459–469.
114. *Ahmed el Absihi.* Kitab al Mostraf. II / trad. G. Rat. — Paris, 1902.
115. *Albertotti, G.* Manoscritto francese del secolo XVII riguardante l'uso degli occhiali // Atti Acc. — Di Modena. — 1872. — Sez. II. — Vol. IX.
116. *Albertotti, G.* Alcune note critiche e bibliografiche riguardanti la storia degli occhiali // Atti Acc. — Padua, 1914. — Ann. Ott. XLIII. — P. 328, 356.
117. *Albertotti, G.* Rivendicazione di un'antica Gloria Venta. — Padua, 1922.
118. *Albertus Magnus.* De sensu et sensato / ed. A. Borget // Alberti Magni Opera Omnia. — 1890. — Vol. IX. — P. 1–96.
119. *Al-Hassan, A. Y.* Islamic technology / A. Y. Al-Hassan, D. R. Hill. — Cambridge, 1986.
120. *Anawati, G. C.* Hunayn ibn Ishaq / G. C. Anawati, A. Z. Iskandar // Dictionary of Scientific Biography, XV. — 1978. — P. 230–249.
121. *Archer, M.* English Stained Glass. — L. : Her Majesty stationery office, 1985. — 48 p.
122. *Auszüge aus Geminus* / ed. Richard Schone // Damianos. Schrift über Optik. — Berlin, 1897. — S. 22, 28.
123. *Bacon, R.* Opus majus / ed. J. H. Bridges. — Oxonii (Oxford) : Clarendon Press, 1897–1900. — Vol. 3.
124. *Baker, M.* Alhazen's Problem, its Bibliography and Extension of the Problem // American Journal of Mathematics. — 1881. — P. 327–331.
125. *Balduin, J. W.* The Scholastic Culture of the Middle Ages. — Lexington, Mass., 1971.
126. *Baltrušaitis, J.* Lo specchio: rivelazioni, inganni e science-fiction. — Milano : Adelphi, 2007. — 336 p.
127. *Barck, C.* The History of Spectacles (1907). — Kessinger Legacy Reprints, 2010.
128. *Bauemker, Cl.* Witelo. Ein Philosoph und Naturforscher des XIII. Jahrhunderts // Beitrage zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters. — Munster, 1908. — Bd. III. — Hf. 2.
129. *Baur, L.* Die philosophischen Werke des Robert Grosseteste, Bischofs von Lincoln. — Munster, 1912.
130. *Belting, H.* Florenz und Bagdad. Eine westöstliche Geschichte des Blicks. — München : C. H. Beck, 2008. — 320 s.

131. *Bennett, J.* Sphaera Mundi. Astronomy Books in the Whipple Museum: 1478–1600 / J. Bennett, D. B. Meli. — Cambridge : Whipple Museum of the History of Science, 1994. — 148 p.
132. *Berger, de Xivrey J.* Tradition téatologique. — Paris, 1836.
133. *Berthelot, M.* Les merveilles de l’Egypte et le prestige des savants alexandrins // Journal des Savans. — 1899. — P. 244.
134. *Bjornbo, A.* Alkindi, Tideus und Pseudo-Euclid: Drei optische Werke / eds. S. Vogl. — Leipzig : Teubner, 1912.
135. *Bode, P.* Die Alhazenische Spiegel-Aufgabe in ihrer historischen Ehtwicklung nebst einer analytischen Lösung des verallgemeinerte Problems // Jahresberichte des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main. — 1883. — P. 63–107.
136. *Boethius, A. M. S.* Fundamentals of Music / transl. C. M. Bower. — New Haven : Yale University Press, 1989.
137. *Bouché-Leclercq, A.* Histoire de la divination dans l’Antiquité. — Paris : E. Leroux, 1879. — P. I.
138. *Boyer, C. B.* The Rainbow: from Myth to Mathematics. — N. Y., 1959.
139. *Bulæus, C. E.* Historia universitatis parisiensis. — Paris, 1670. — T. V.
140. *Burnett, Ch.* Arabic into Latin: the Reception of Arabic Philosophy into Western Europe / eds. P. Adamson, R. C. Taylor // Cambridge Companion to Arabic Philosophy. — Cambridge : Cambridge University Press, 2005.
141. *Burnett, Ch.* Translation and Translators, Western European / ed. J. R. Strayer // Dictionary of the Middle Ages. — N. Y. : Scribner, 1982–1989. — Vol. 12. — P. 136–142.
142. *Cahill, T.* How the Irish Saved Civilization. — N. Y. : Doubleday, 1995. — 246 p.
143. *Carter, D.* Reflections in Armor in the Canon van der Paele Madonna // The Art Bulletin. — 1954. — P. 60–62.
144. *Cassagnes-Brouquet, S.* La passion du livre au Moyen Age. — Rennes : Ouest-France, 2010. — 128 p.
145. *Cassagnes-Brouquet, S.* Les métiers au Moyen Age. — Rennes : Ouest-France, 2010. — 128 p.
146. *Cerantola, S.* The Physics Law of Ibn Sahl: Study and Partial Translation of his Kitab al-Harraqat // Anaquel de Estudios Arabes. — 2004. — Vol. 15. — P. 57–95.
147. *Chalmers, A. F.* The Extraordinary Prehistory of the Law of Refraction // Australian Physicist. — 1975. — № 6. — S. 86.
148. *Cobban, A. B.* English University Life in the Middle Ages. — Columbus : Ohio State University Press, 1999. — 264 p.
149. *Cochin, A.* La Manufacture des glaces de Saint-Gobain. — Paris, 1865.
150. *Cohen, M. R.* A Source Book in Greek Science / M. R. Cohen, I. E. Drabkin. — Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 1958.
151. *Coldstream, N.* Builders and Decorators. Medieval Craftsmen in Wales // Welsh Assembly Government. — Cardiff, 2008. — P. 57–63.
152. *Comte, F.* Le luminaire en verre // Les dossiers d’archéologie. — 1989. — № 143. — P. 46–51.
153. *Contreni, J. J.* Carolingian Learning, Masters and Manuscripts. — Hampshire, Great Britain : Variorum ; Brookfield, Vt., USA : Ashgate Pub. Co., 1992. — Vol. 1.
154. *Corrado, R.* Galleria di Parma. — Parma, 1896.
155. *Crawford, F. S.* Averrois cordubensis commentarium magnum in Aristotelis «De anima» libros / eds. H. A. Wolfson, D. Baneth, F. H. Forbes // Corpus Commentatorum Averrois in Aristotelem. — The Mediaeval Academy of America, 1953. — Vol. VII.
156. *Crombie, A. C.* Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100–1700. — Oxford : Clarendon Press, 1953. — P. 220–223.
157. *Crombie, A. C.* Early Concepts of the Senses and the Mind // Scientific American. — 1964. — Vol. 210.5. — P. 108–116.
158. *Crombie, A. C.* The Mechanistic Hypothesis and the Scientific Study of Vision: Some Optical Ideas as a Background of the Invention of the Microscope / eds. S. Bradbury, G. L’E. Turner // Historical Aspects of Microscopy. — Cambridge : Heffer, 1967. — P. 3–112.
159. *Dales, R. C.* The Intellectual Life of Western Europe in the Middle Ages. — Brill Academic Publishers, 1992.
160. *D’Alverny, M.-T.* Translations and Translators / eds. R. L. Benson, G. Constable // Renaissance and Renewal in the Twelfth Century. — Cambridge : Harvard University Press, 1982. — P. 421–462.
161. *Daly, L. J.* The Medieval University, 1200–1400. — N. Y. : Sheed and Ward, 1961.
162. *Damianos.* Schrift über Optik / ed. R. Schone. — Berlin, 1897. — S. 2.
163. *Davidson, D. C.* Spectacles, Lorgnettes and Monocles // Shire Album. — 1989. — № 227. — P. 32.

164. *De Hamel, Ch.* Medieval craftsmen: scribes and illuminators. Tenth imp. — London : The British Museum Press, 2009. — 72 p.
165. *De Nino, A.* Briciole Letterarie. — Lanciano : Rocco Carabba, 1885. — Vol. 2.
166. Deep Ultraviolet radiation simulates the Turin Shroud image / P. Di Lazzaro [et al.] // *Journal of Imaging Science and Technology*. — 2010. — Vol. 54. — № 4. — P. 040302 (1–6).
167. *Delatte, A.* La catoptronomie grecque et ses dérivés. — Liège, 1932.
168. *Della Porta, G. B.* Magiae naturalis libri viginti. — Naples : Horatius Salvanus, 1589.
169. *Desjardins, E.* La table de Peutinger, d'après l'original conservé à Vienne. — 14 livr. — P. 1869–1874.
170. *Dimisqui.* Cosmographie / trad. A. F. Mehren. — Copenhagen, 1866.
171. *Dorigato, A.* The Glass Museum. — Marsilio Editori in Venice, 2006. — 111 p.
172. *Duhem, P.* Etudes sur Leonard de Vinci. — 1955. — Vol. 1–3.
173. *Dutarte, P.* Les instruments de l'astronomie ancienne. De l'antiquité à la renaissance. — P. : Vuibert, 2006. — 296 p.
174. *Eastwood, B. S.* The Elements of Vision: The Micro-cosmology of Galenic Visual Theory According to Hunayn ibn Ishaq // *Transactions of the American Philosophical Society*. — 1982. — Vol. 72. — P. 5.
175. *Eastwood, B. S.* Ordering the Heavens: Roman Astronomy and Cosmology in the Carolingian Renaissance. — Leiden ; Boston : Brill Academic Publishers, 2007.
176. *Eisler, R.* The polar sighting tube // *Arhives Internationales d'Histoire des Sciences*. — 1949. — № 2. — P. 312.
177. *Elkhadem, H.* À la découverte de l'âge d'or des sciences arabes : Catalogue de l'exposition itinérante. — Bruxelles : Luc Pire, 2009. — 128 p.
178. *Empereur, J.-Y.* Le Phare d'Alexandrie. La Merveille retrouvée. — P. : Gallimard, 1998.
179. *Enoch, J. M.* Archeological Optics // *International Trends in Applied Optics / SPIE*. — Washington, 2002. — Vol. 5. — P. 629–666.
180. *Ex oriente lux? Wege zur neuzeitlichen Wissenschaft / red. K. Aydin.* — Mainz ; Rhein : Philipp von Zabern, 2009. — 526 p.
181. *Eymericus, N.* Directorum inquisitorum. — Roma, 1578.
182. *Fakhry, M. A.* History of Islamic Philosophy. — N. Y. : Columbia University Press, 1983.
183. *Ferruolo, S. C.* The Origins of the University. The Schools of Paris and their Critics, 1100–1215. — Stanford, California : Stanford University Press, 1985.
184. *Fournier, S.* A Brief History of Parchment and Illumination / transl. B. Degans. — Monsempron-Libos : Fragile, 1998. — 20 p.
185. *Foy, D.* Les ateliers de verriers // *Les dossiers d'archéologie*. — 1989. — № 143. — P. 2–9.
186. *Foy, D.* L'urinal // *Les dossiers d'archéologie*. — 1989. — № 143. — P. 15.
187. *Foy, D.* Les lunettes // *Les dossiers d'archéologie*. — 1989. — № 143. — P. 52–53.
188. *Frank, E.* Plato und die sogenannten Pythagoreer. — Tübingen, 1923.
189. *Frugoni, Ch.* Le Moyen Age sur le bout du nez. — P. : Les belles lettres, 2011. — 274 p.
190. *Gabriel, A. L.* The Mediaeval Universities of Pécs and Pozsony. — Notre Dame, Indiana : The Mediaeval Institute, University of Notre Dame, 1969. — 87 p.
191. *Garlaschelli, L.* Life-size Reproduction of the Shroud of Turin and its Image // *Journal of Imaging Science and Technology*. — 2010. — Vol. 54. — № 4. 040301 (1–14).
192. *Garnier, E.* Histoire de la verrerie et de l'émaillerie. — Tours, 1886.
193. *Gasparetto, A.* Vetro di Murano dale origini ad oggi. — Venice : Nerri Pozza, 1958.
194. *Gibbs, R.* Tomaso da Modena. Painting in Emilia and the March of Treviso, 1340–80. — Cambridge : Cambridge University Press, 1989. — 333 p.
195. *Gohlman, W. E.* The Life of Ibn Sina. — Albany ; N. Y., 1974.
196. *Gonzalez, V.* Universality and Modernity of Ibn al-Haytham's Thought and science. — The Institute of Ismaili Studies, 2002. — P. 7.
197. *Gouk, P. M.* The Ivory Sundials of Nuremberg 1500–1700. — Cambridge : Whipple Museum of the History of Science, 1988. — 144 p.
198. *Grant, E.* Physical Science in the Middle Ages. — N. Y. : Wiley, 1971.
199. *Grant, E.* Science and Religion, 400 B. C. to A. D. 1550: From Aristotle to Copernicus. — Westport, Conn. : Greenwood Press, 2004. — 328 p. — (Greenwood Guides to Science and Religion).
200. *Graydon, O.* Medieval Lenses Exhibit Modern Performances // *Opto & Laser Europe*. — November 1998. — Iss. 56.
201. *Greeff, R.* Die historische Entwicklung der Brille. — Wiesbaden : J. F. Bergmann, 1913.
202. *Gregorio di Tours.* De Gloria martyrum / trad. H.-L. Bordier. — Paris, 1847.
203. *Gregory, F.* Science and Religion In Western History / ed. H. Steffens // *Topical Essays for Teachers*. — Seattle : History of Science Society, 1995. — P. 35–70.

204. *Grimorium verum vel probatissimae Clavinculae Rabini Hebraïci*. — Memphis, 1517.
205. *Grunebaum, G. E.* Muslim World View and Muslim Science // *Islam: Essays in the Nature and Growth of a Cultural Tradition*. — N. Y. : Barnes and Noble, 1961.
206. *Gurikov, V. A.* On the Study of Interconnections Between Natural and Technical Sciences // *Acta historica rerum naturalium nec non technicarum*. — Special Issue, 8. — Prague, 1976. — P. 307–315.
207. *Gutas, D.* Greek Thought, Arabic Culture: the Greeco-Arabic Translation Movement in Baghdad and Early Abbasid Society. — London : Routledge, 1998.
208. *Hackett, M. B.* The University as a Corporate Body / ed. Catto J. Oxford // *The History of University of Oxford*. — 1984. — Vol. 1.
209. *Hammond, J. H.* The Camera Obscura. A Chronicle. — Bristol : Adam Hilger Ltd., 1981. — 182 p.
210. *Harvey, R.* The Inward Wits: Psychological Theory in the Middle Ages and the Renaissance. — London : Warburg Institute, 1975.
211. *Hashemipour, B.* Baha al-Din Muhammad ibn Husayn al-Amili / ed. in chef T. Hockey // *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. — N. Y. : Springer, 2007. — 1342 p.
212. *Haskins, Ch. H.* The Rise of Universities. — N. Y. : H. Holt and Company, 1923.
213. *Hastings, R.* The Universities of Europe in the Middle Ages : in 3 pt. — Cambridge : Cambridge University Press, 2010. — Vol. 2. [orig. Oxford : Clarendon Press, 1895].
214. *Heath, T. L.* The Fragment of Anthemius on Burning Mirrors and the Fragmentum Mathematicum Bobiense // *Bibliotheca Mathematica*. — 1907. — Ser. 3. VIII. — P. 225–233.
215. *Heiberg, J. L.* Ibn al Haitams Schrift über parabolische Hohlspiegel / J. L. Heiberg, E. Wiedemann // *Bibliotheca Mathematica*. — 1910. — Ser. 3. X. — P. 201–237.
216. *Hercher, R.* Artemidori Daldiani Onicriticon libri V. — Leipzig, 1864.
217. *Hill, D. R.* A History of Engineering in Classical and Medieval Times. — L. : Croom Helm, 1984.
218. *Hildebrandt, M. M.* The External Schools in Carolingian Society. — Leiden ; N. Y. : E. J. Brill, 1992. — XII. — 169 p.
219. *Hillenbrand, R.* The Ornament of the World: Medieval Córdoba as a Cultural Center / ed. S. Kh. Jayyusi // *The Legacy of Muslim Spain*. — Leiden : Brill, 1994. — P. 112–135.
220. *Hirschberg, J.* Die arabischen Lehrbücher der Augenheilkunde Berlin: Abhd. der preuss. — Ak. der Wiss., 1905. — 117 p.
221. *Hockney, D.* The Science of Optics: Recent Revelations about the History of Art / D. Hockney, Ch. Falco // *Proc. SPIE*. — October 2012. — Vol. 8480.
222. *Hunain ibn Is-hag.* Book of the Ten Treatises of the Eye. — Cairo, 1928.
223. *Ibn al-Haytham.* Kitab al-Manazir / ed. A. I. Sabra. On Direct Vision. — Kuwait : National Council for Culture, Arts and Letters, 1983. — B. I–III.
224. *Ibn Khaldun.* The Mediterranean in the 14th Century. Rise and falls of Empires : Catalogue of the exhibition in the Real Alcazar of Seville. — 2006. — 458 p.
225. *Jackson, I. P.* Correlation of Image Intensity on the Turin Shroud with the 3-D Structure of a Human Body Shape / I. P. Jackson, E. I. Jumper, W. R. Ercolone // *Applied Optics*. — 1984. — Vol. 23. — № 14. — P. 2244–2270.
226. *Jacquot, D.* Les sciences au Moyen Age dans le monde // *Popular Science*. — 2003. — Vol. 37. — 120 p.
227. *Jamblique.* Les mystères d’Egypte. — Paris : Budé, 1966.
228. *Jeauneau, É.* L’âge d’or des ecoles de Chartres. — Cahrtres : Houvet, 2000. — 84 p.
229. *Jolivet, J.* The Arabic Inheritance / ed. P. Dronke // *A History of Twelfth-Century Western Philosophy*. — Cambridge, 1998. — P. 113–150.
230. *Joyas escritas.* Los fondos bibliográficos árabes de Cataluña / ed. J. Giralt // *Institut Català de la Mediterrània*. — Barcelona : Lunwerg, 2002. — 268 p.
231. *Kennedy, E. S.* Late Medieval Planetary Theory. I // *The Cambridge History of Iran*. — 1966. — Vol. 57. — P. 365–378.
232. *Kepler, J.* Optics: Paralipomena to Witelo & Optical part of Astronomy | trans. W. H. Donahue. — Santa Fe : Green Lion Press, 2000.
233. *Kibre, P.* Scholarly Privileges in the Middle Ages: the Rights, Privileges, and Immunities of Scholars and Universities at Bologna, Padua, Paris, and Oxford. — Cambridge, Mass. : Mediaeval Academy of America, 1962.
234. *King, D.* 14th Century England or 9th Century Baghdad? New Insights on the Elusive Astronomical Instrument Called «Navicula de Venetiis». *Centaurus*. — December 2003. — Vol. 45. — Iss. 1–4. — P. 204–226.
235. *Kircher, A.* *Ars Magna lucis et umbrae*. — Amsterdam : Jansson und Waesberge, 1671.

236. *Krug, A.* Nero's Augenglas Realia // *Archeologie et Medicine. Actes du Colloque 23-25 October 1986. Antibes: Juan de Pins, France / ed. A. D. P. C. A.* — 1987. — P. 459-475.
237. *Kuhn, G.* Sieben Jahrhunderte Brille. *Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums / G. Kuhn, W. Roos.* — München, 1968.
238. *Kuisle, A.* Brillen. Gläser, Fassungen, Herstellung. — München : Deutsches Museum, 1997. — 88 s.
239. La fabrication du verre // *Les dossiers d'archeologie.* — 1989. — № 143. — P. 68-69.
240. L'Age d'or des sciences arabes: Exposition présenté à l'Institut du monde arabe, Paris, 25 octobre 2005 — 19 mars 2006. — Paris : Actes Sud; Institut du monde arabe, 2005. — 324 p.
241. *Laistner, M. L. W.* Thought and Letters in Western Europe: A. D. 500 to 900. — Ithaca ; N. Y. : Cornell University Press, 1955.
242. *Laufer, B.* Zur Geschichte d. Brille // *Mitteilungen d. Gesellsch. f. Geschichte d. Medizin.* — 1907. — № 6. — P. 379.
243. *Lavoie, G. R.* Resurrected: Tangible Evidence That Jesus Rose from the Dead. — Notre Dame, Indiana : Ave Maria Press, 2000.
244. *Leff, G.* Paris and Oxford Universities in the Thirteenth and Fourteenth Centuries. — N. Y., 1968.
245. *Lejeune, A.* Recherches sur la catoptrique grecque. — Bruxelles : Palais des academies, 1957. — P. 153-166.
246. *Lejeune, A.* L'Optique de Claude Ptolémée. — Leiden : E. J. Brill, 1989.
247. *Lemay, R.* Gerard of Cremona. *Dictionary of Scientific Biography.* — 1978. — Vol. 15. — P. 176-192.
248. *Lindberg, D. C.* Alhazen's Theory of Vision and its Reception in the West. *Isis.* — 1967. — Vol. 58. — P. 322.
249. *Lindberg, D. C.* The Cause of Refractions in Medieval Optics // *British Journal for the History of Science.* — 1968. — Vol. 4, Iss. 1. — P. 23-38.
250. *Lindberg, D. C.* The Theory of Pinhole Images from Antiquity to the Thirteenth Century // *Archive for History of Exact Sciences.* — 1968. — Vol. 5. — P. 154-162.
251. *Lindberg, D. C.* John Pecham and the Science of Optics. — Madison : University of Wisconsin Press, 1970.
252. *Lindberg, D. C.* Theories of Vision from al-Kindi to Kepler. — Chicago : The University of Chicago Press, 1976.
253. *Lindberg, D. C.* Science in the Middle Ages. — Chicago : The University of Chicago Press, 1978.
254. *Lindberg, D. C.* Roger Bacon's Philosophy of Nature: A Critical Edition, with English Translation, Introduction, and Notes, of *De Multiplicatione Specierum, and De Speculis Combuurentibus.* — Oxford : Clarendon Press, 1983.
255. *Lindberg, D. C.* Studies in the History of Medieval Optics. — L. : Variorum, 1983.
256. *Lindberg, D. C.* Lenses and Eyeglasses / ed. J. R. Strayer // *Dictionary of Middle Ages.* — N. Y. : Charles Scribner, 1986. — Vol. 11.
257. *Lindberg, D. C.* La réception occidentale de l'optique arabe // *Histoire des sciences arabes.* — 1996. — T. 2 : Ch. L'optique géométrique. — P. 355-367.
258. *Lindberg, D. C.* Roger Bacon and the Origins of 'Perspectiva' in the Middle Ages. — Oxford : Clarendon Press, 1996. — 418 p.
259. *Lindberg, D. C.* Medieval Islamic Achievement in Optics // *Optics & Photonics News.* — 2003. — Vol. 7. — P. 31-35.
260. *Lindberg, D. C.* The Beginnings of Western Science. — The University of Chicago Press, 2007. — 488 p.
261. *Lloyd, G.* The history of optics / G. Lloyd, D. Jefferis. — N. Y. : Thomson Learning, 1995.
262. *Lohne, J. A.* Der Eigenartige Einfluss Witelos auf die Entwicklung der Dioptrik // *Archive for History of Exact Sciences.* — 1968. — Vol. 5. — S. 414-426.
263. *Lohne, J. A.* Alhazens Spiegelproblem // *Nordisk Matematisk Tidsskrift.* — 1970. — № 18. — S. 5-35.
264. *Lotto, E.* From Nero's Emerald to the Cadore Glasses. — Pieve di Cadore : Tiziano printing house, 2000. — 148 p.
265. *Lovell, D. J.* Optical Anecdotes. — SPIE Press, 2004. — 144 p.
266. *Magnus, H.* Die Anatomie des Auges in ihrer geschichtlichen Entwicklung. — Breslau, 1900.
267. *Marenbon, J.* From the Circle of Alcuin to the School of Auxerre... — Cambridge : Cambridge University Press, 1981.
268. *Masood, E.* Science & Islam: A History. — L. : Icon Books, 2009. — 256 p.

269. *Masoudi*. Les Praires d'or / trad. C. Barbier de Meynard, [A.] Pavet de Courteille. — Paris, 1863. — T. II. — P. 431–435.
270. *Mauzy, L.-F.-A.* Sur un miroir magique du XVe ou XVIe siècle // *Revue archéologique*. — 1846. — № V. — P. 159.
271. *McCluskey, S. C.* Astronomies and Cultures in Early Medieval Europe. — Cambridge : Cambridge University Press, 1998.
272. *McEvoy, J.* The Metaphysics of Light in the Middle Ages // *Philosophical Studies*. — Dublin, 1979. — № 26. — P. 126–145.
273. *McEvoy, J.* The Philosophy of Robert Grosseteste. — Oxford : Clarendon Press, 1986.
274. *Meyerhof, M.* The Book of the Ten Treatises on the Eye Ascribed to Hunain ibn Is-haq (809–877 A. D.). — Cairo, 1928. — 148 p.
275. *Millás Vallicrosa, J. M.* La introducción del cuadrante con cursor en Europa // *Isis*. — 1932. — Vol. 17. — P. 218–258.
276. *Mirami, R.* Compendiosa introduzione alla prima parte della speculativa. — Ferrara, 1582.
277. Mostra scienza della visione: aspetti e strumenti tra Leonardo e l'eta moderna : catalogo / S. Abati [et al.]. — S. Stefano : Fabiano Ed., 1998. — 224 p.
278. *Nallino, C. A.* Raccolta di scritti editi e inediti / ed. M. Nallino. — Rome : Istituto per l'Oriente, 1944. — Vol. 5 : Astrologia, astronomia, geografia. — P. 257–266, 460–463.
279. *Nasr, S. H.* The Meaning of Nature in Various Intellectual Perspectives in Islam // *Islamic Quarterly*. — 1965. — Vol. 9. — P. 25–29.
280. *Nazif, M.* Al-Hasan ibn al-Haytham, His Optical Researches and Discoveries. — Cairo : Nuri Press, 1942–1943. — 2 vols.
281. *Needham, J.* Science and Civilization in China. — Cambridge University Press, 1962. — Vol. 4 : Physics and Physical Technology. — Part I : Physics.
282. *Oliver, S.* Robert Grosseteste on Light, Truth and Experimentum // *Vivarium*. — 2004. — Vol. 42. — № 2. — P. 151–180.
283. *O'Meara, J. J.* Eriugena. — Oxford : Clarendon Press, 1988.
284. *Opticae Thesaurus. Alhazeni arabis libri septem... item Vitellionis Thuringopoloni libri decem, editi a Federico Risnero.* — Basle, 1572.
285. *Orme, N.* English Schools in the Middle Ages. — Routledge, 1973. — 369 p.
286. *Orr, H.* Illustrated History of Early Antique Spectacles. — Beckenham ; Kent, 1985. — 112 p.
287. *Ovitt, G.* The Cultural Context of Western Technology: Early Christian Attitude to Towards Manual Labour // *Technology and Culture*. — 1986. — Vol. 27. — P. 484.
288. *Pausanias, ou Voyage historique de la Grèce.* — Paris, 1731.
289. *Pederson, O.* Astronomy / ed. D. C. Lindberg // *Science in the Middle Ages*. — Chicago : The University of Chicago Press, 1978. — P. 303–337.
290. *Perrot, F.* Walls of Light // *The Palais de la Cité*. — Paris, 2008. — P. 20–33. — (Connaissance des Arts).
291. *Perrot, M.* La houille d'or, ou l'énergie solaire. — Paris : Fayard, 1963. — 159 p. — (Collection «Bilan de la Science»).
292. *Peyrard, F.* Miroir ardent: Rapport fait à l'Institut National Classe Sciences Physique et Mathématiques le 4 aout 1807 // *Oeuvres d'Archimède*. — 1807. — P. 549–568.
293. *Pfleiderer, R.* Die Attribute der Heiligen. — Ulm : H. Kerler, 1898. — 206 s.
294. *Poulet, W.* Atlas zur Geschichte der Brille : 3 Bande. — Bonn ; Bad Godesberg : Verlag Wayenborgh, 1978–1980.
295. *Poulle, E.* Les instruments astronomiques du Moyen Age. — Paris : A. Brioux, 1983. — 44 p.
296. *Priestley, J.* Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. — Leipzig, 1775. — T. 1.
297. *Ragep, F. J.* Tusi and Copernicus: The Earth's Motion in Context // *Science in Context*. — 2001. — Vol. 14. — № 1–2. — P. 145–163.
298. *Ramskou, Th.* Danskeøen // *Skalk*. — 1967. — № 2. — S. 32–34.
299. *Rand, E. K.* Founders of the Middle Ages. — Cambridge, Mass., 1928.
300. *Rashed, R.* Oeuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindi. — Leiden : Brill, 1977. — Vol. 1 : L'optique et la catoptrique.
301. *Rashed, R.* A Pioneer in Anaclastics: Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses. *Isis*. — 1990. — Vol. 81. — P. 464–491.
302. *Rashed, R.* De Constantinople à Bagdad: Anthémios de Tralles et al-Kindi // *Actes du Colloque international: La Syrie de Byzance à l'Islam VII–VIIIe siècle* (Lyon, 1990). — Damas : IFEAD, 1992. — P. 165–170.
303. *Rashed, R.* Futhitos (?) et al-Kindi sur «l'illusion lunaire» // *ΣΟΦΙΗΣ ΜΑΙΗΤΟΡΕΣ, «Chercheurs de sagesse»*. — Paris : Institute d'Etudes Augustiniennes, 1992. — P. 533–559. — (Collection des Etudes Augustiniennes: Série Antiquité. № 131).

304. *Rashed, R.* Géométrie et dioptrique en Xe siècle. Ibn Sahl, al-Quhi et Ibn al-Haytam. — Paris : Les Belles Lettres, 1993. — 705 p.
305. *Rashed, R.* Encyclopedia of the History of Arabic Science. — L. ; N. Y. : Routledge, 1996. — V. 3.
306. *Rashed, R.* L'optique géométrique // Histoire des sciences arabes. — 1996. — T. 2. — P. 293–318.
307. *Rasmussen, O.* Chinese Eyesight and Spectacles. — Tonbridge : Tonbridge Free Press, 1946.
308. *Reetz, H.* Bildnis und Brille. — Oberkochen : Carl Zeiss, 1957. — 92 s.
309. *Registrum Epistolarum Fratris Johannis Peckham, Archiepiscopi Cantuariensis* / ed. C. T. Martin. — L. : Longman, 1882–1885. — Vol. 3.
310. *Ronchi, V.* Perche non si ritrova l'inventore degli occhiali? // Rivista di oftalmologia. — 1946. — Vol. 1. — P. 140.
311. *Rosen, E.* The Invention of Eyeglasses // Journal of the History of Medicine and Allied Sciences. — 1956, January. — Vol. 11. — P. 13–46, 183–218.
312. *Rosenthal, J.* Spectacles and Other Vision Aids: A History of and Guide to Collecting / J. Rosenthal, M. D. William. — San Francisco : Norman Pub., 1996. — 489 p.
313. *Rose-Villequey, G.* Verres et verriers de Lorraine. — Nancy : Bialec, 1970.
314. *Russell, G. A.* Emergence of Physiological Optics / eds. R. Rashed, R. Morelon : 3 vols // Encyclopedia of the History of Arabic Science. — L. : Routledge, 1996. — Vol. II. — P. 689–690.
315. *Russell, G. A.* La naissance de l'optique physiologique / ed. R. Rashed // Histoire des sciences arabes. — Paris, 1996. — T. 2. — P. 319–354.
316. *Russo, L.* The Forgotten Revolution: How Science Was Born in 300 BC and Why It Had To Be Reborn. — Berlin : Springer, 2004.
317. *Sabra, A. I.* Explanation of Optical Reflection and Refraction: Ibn al-Haytam, Descartes, Newton // International Congress on the History of Science, Ithaca. — 1962. — Vol. 26. — P. 551–554.
318. *Sabra, A. I.* Theories of Light from Descartes to Newton. — L. : Oldbourne, 1967. — 363 p.
319. *Sabra, A. I.* Sensation and Inference in Alhacen's Theory of Visual Perception / eds. P. Machamer, R. Turnbull // Studies in Perception. — Columbus, Ohio, 1978. — P. 160–185.
320. *Sabra, A. I.* Ibn al-Haytham's Lemmas for Solving 'Alhazen's Problem' // Archive for History of Exact Sciences. — 1982. — Vol. 26. — P. 299–324.
321. *Sabra, A. I.* The Appropriation and Subsequent Naturalization of Greek Science in Medieval Islam // History of Science. — 1987. — Vol. 25. — P. 223–243.
322. *Sabra, A. I.* Ibn al-Haytham // Harvard Magazine. — Sept.–Oct. 2003. — P. 54–55.
323. *Sabra, A. I.* Alhazen's Optics in Europe: Some Notes on What It Said and What It Did Not Say / ed. W. Lefevre // Inside the Camera-Obscura — Optics and Art under the Spell of the Projected Image. — Max Planck Institute for the History of Science : Preprint 333, 2007. — P. 53–57.
324. *Sadaune, S.* Inventions et découvertes au Moyen Age dans le monde. — Rennes : Éd. Ouest-France, 2006. — 144 p.
325. *Saliba, G.* A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam. — N. Y. : New York University Press, 1994.
326. *Saliba, G.* Reform of Ptolemaic Astronomy at the Court of Ulugh Beg / eds. Ch. Burnett [et al] // Studies in the History of the Exact Sciences in Honour of David Pengree. — Leiden : E. J. Brill, 2004. — P. 810–824.
327. *Saliba, G.* Islamic Science and the Making of the European Renaissance. — Cambridge, Mass. : MIT Press, 2007.
328. *Salmon, F.* Medieval Theories of Vision in the Medical Classroom // Endeavour. — 1998. — Vol. 22 (3). — P. 125–128.
329. *Sayili, A.* Al-Qarafi and his Explanation of the Rainbow // Translations of the American Philosophical Society. — Philadelphia : APS, 1940. — Vol. 32. — P. 16–26.
330. *Schefer, Ch. A.* Relation du voyage de Nassiri Khosrau. — Paris, 1881.
331. *Schmidt, O.* The Visby Lenses / O. Schmidt, K. H. Wilms, B. Lingelbach // Optometry & Vision Science. — 1999. — Vol. 76 (9). — P. 624–630.
332. *Schramm, M.* Ibn al-Haytham's Weg zur Physik. — Wiesbaden, 1963.
333. *Schwartz, H.* The Mirror of the Artist and Mirror of the Devout // Studies in the History of Art dedicated to Williams S. — Suida. — L., 1959. — P. 90–105.
334. *Sharp, D. E.* Franciscan Philosophy at Oxford. — Oxford, 1930. — P. 175–207.
335. *Shirayama, S.* Social History of Spectacles. — Tokyo, 1990.
336. *Simon, G.* L'Optique d'Ibn al-Haytham et la tradition Ptoléméenne // Arabic Sciences and Philosophy. — 1992. — Vol. 2. — Iss. 2. — P. 203–235.

337. *Smith, A. M.* Getting the Big Picture in Perspectivist Optics // Translations of the American Philosophical Society. — Philadelphia : APS, 1981. — Vol. 72.
338. *Smith, A. M.* Alhazen's Debt to Ptolemy's Optics / eds. T. H. Levere, W. R. Shea // Nature, Experiment, and the Sciences. — Dordrecht : Kluwer, 1990. — P. 147–164.
339. *Smith, A. M.* Picturing the Mind: The Representation of Thought in the Middle Ages and Renaissance // Philosophical Topics. — 1992. — Vol. 20. — Iss. 2. — P. 149–170.
340. *Smith, A. M.* Extremal Principles in Ancient and Medieval Optics // Physics. — 1994. — Vol. 31. — P. 113–140.
341. *Smith, A. M.* Ptolemy's Theory of Visual Perception // Transactions of the American Philosophical Society. — Philadelphia : APS, 1996. — Vol. 86.2.
342. *Smith, A. M.* Alhacen's Theory of Visual Perception // Transactions of the American Philosophical Society. — Philadelphia : APS, 2001. — Vols. 91.4, 91.5.
343. *Smith, A. M.* What is the History of Medieval Optics Really About? // Proceeding of the American Philosophical Society. — 2004. — Vol. 148.2. — P. 180–194.
344. *Smith, A. M.* Alhacen's Approach to 'Alhasen's problem' // Arabic Science and Philosophy. — 2008. — Vol. 18. — P. 143–163.
345. *Schmitz, E.-H.* Handbuch zur Geschichte der Optik. — Bonn, 1981. — Bd. 1 : von der Antike bis Newton. — S. 53–54.
346. *Southern, R. W.* The Schools of Paris and the School of Chartres // Renaissance and Rene's Whale in the Twelfth Century. — Cambridge, 1982. — P. 113–137.
347. *Sparziano.* Didus Julianus. Cap. VII // L.-F.-A. Maury. La magie et l'astrologie dans l'Antiquité et au Moyen Age. — Paris, 1860.
348. *Stark, R.* For the Glory of God: How Monotheism Led to Reformations, Science, Witch-Hunts, and the End of Slavery. — Princeton University Press, 2003.
349. *Stenberger, M.* Die Schatzfunde Gotlands der Wikingerzeit // Kungl. Vitterhets Historie och Antikvitets Akademien. — Stockholm : Almqvist & Wiksell, 1958.
350. *Takahashi, K.* The Medieval Latin Traditions of Euclid's Catoptrica Fukuoka. — Kyushu University Press, 1992. — P. 13–49.
351. *Temple, R.* The Crystal Sun. — L. : Arrow Books, 1999. — 642 p.
352. *Temple, R.* Forntida Gotländska Linser // Gotländskt Arkiv. — 2000. — № 72. — S. 41–52.
353. *Thiersch, H.* Pharos: Antike, Islam und Occident. Ein Beitrag zur Architekturgeschichte. — Leipzig, 1909.
354. *Thomson, S. H.* The Writings of Robert Grosseteste, Bishop of Lincoln, 1235–1253. — Cambridge : Cambridge University Press, 1940.
355. *Thorndike, L.* A History of Magic and Experimental Science During the First Thirteen Centuries of Our Era. — N. Y., 1923. — Vol. II.
356. *Thunmark-Nylén, L.* Die Wikingerzeit Gotlands // Kungl. Vitterhets Historie och Antikvitets Akademien. — Stockholm, 2006.
357. *Tolomeo.* De speculis. — Venezia, 1518.
358. *Toomer, G. J.* A Survey of the Toledan Tables. Osiris. — 1968. — Vol. 15. — P. 5–174.
359. *Toso, G.* Il vetro di Murano. — Venezia : Arsenale, 2000. — 191 p.
360. *Trombe, F.* Les installations de Montlouis et le four solaire de 1000 kw d'Odeillo-Font-Romeu // Application thermique de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie: Colloques internationaux du CNRS, 85. — Paris, 1961. — P. 87–119.
361. *Turner, A. J.* Istituto e Museo di Storia della Scienza. Catalogue of Sun-dials, Nocturnals and Related Instruments. — Firenze : Giunti, 2007. — 173 p.
362. *Van Reit, S.* Avicenna Latinus. Liber de anima, seu Sextus de naturalibus (I–III). — Brill, 1972. — Pars. III, ch. 5.
363. *Veltman, K. H.* The Sources and Literature of Linear Perspective. — Vols. 1 and 2. — URL: http://www.sumscorp.com/img/file/2004_Sources_of_Perspective.pdf.
364. *Vernet, J.* Mathematics, Astronomy, Optics / eds. J. Schacht, C. E. Bosworth // The Legacy of Islam. — Oxford : Clarendon Press, 1974. — P. 461–489.
365. *Vikingen [Vikings].* — Goteborg : Tre Tryckare, Cagner & Co., 1967. — S. 14.
366. *Vitellionis de natura ratione et protectione guam perspectivam vacant.* — Norimberga, 1535.
367. *Vitrum. Il vetro fra arte e scienza nel mondo romano / M. Beretta, G. Pasquale // Catalogo della mostra.* — Firenze, 2004.
368. *Vogl, S.* Pseudo-Euclides «De Speculis» // Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. XXVI. — Leipzig ; Berlin : Teubner, 1911. — P. 107.
369. *White, L.* Technology and Invention in the Middle Ages. Speculum. — 1940. — Vol. 15. — P. 141–159.
370. *White, L.* Medieval Technology and Social Change. — Oxford : Clarendon, 1962.

371. *White, L.* Medieval Religion and Technology. — Berkeley: University of California Press, 1978.
372. *Wiedemann, E.* Ueber den Apparat zur Untersuchung und Brechung des Lichtes von Ibn al Haitham // *Annalen der Physik.* — Vol. 257. — Iss. 3. — P. 541–544.
373. *Wilde, E.* Geschichte der Optik. — Berlin, 1838. — S. 78–83.
374. *Winter, H. J. J.* Ibn al-Haitham on the Paraboloidal Focussing Mirror / H. J. J. Winter, W. Arafat // *Journal of the Royal Asiatic Society of Bengal.* — 1949. — Ser. 3. — Vol. XV. — № 1–2. — P. 25–40.
375. *Winter, H. J. J.* A Discours on the Concave Spherical Mirror by Ibn al-Haitham / H. J. J. Winter, W. H. Arafat // *Journal of the Royal Asiatic Society of Bengal.* — 1950. — Vol. XVI. — № 1. — P. 1–16.
376. *Witelona Perspektywy Księga II i III* / red. przekładu W. Wroblewski. — Wrocław ; Warszawa ; Kraków : Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, 1991.
377. *Witelonis Perspectivae liber primus* / ed. S. Unguru. — Warsaw : Polish Academy of Science, 1977. — P. 368–375.
378. *Witelonis Perspectivae liber secundus et liber tertius* / ed. S. Unguru. — Warsaw : Polish Academy of Science. — 1991. — 380 p.
379. *Witelonis Perspectivae liber quintus* / ed. A. M. Smith. — Warsaw : Polish Academy of Science, 1983.
380. *Witting, F.* Von Kunst und Christentum. — Strassburg, 1903.
381. *Wojciechowski, K. F.* Wstępna ocena merytoryczna treści I księga «Optyki» Witelona // *Wiadomości Matematyczne.* — 1970. — Ser. 2. — T. II. — S. 239.
382. *Wolf, G.* Mathematik und Malerei. — Leipzig ; Berlin, 1916.
383. *Wolfson, H. A.* The Internal Senses in Latin, Arabic and Hebrew Philosophic Textes. *Harvard Theological Review.* — 1935. — XXVIII. — P. 69–133.
384. *Zimmermann, F.* Philoponus' Impetus Theory in the Arabic Tradition / ed. R. Sorabji // *Philoponus and the Rejection of Aristotelian Science.* — L. : Duckworth, 1987. — P. 121–129.
385. *Λαζος, Η. Δ.* Οπτική στην Αρχαία Ελλάδα. — Αθήνα : Αισιολογ, 2007. — 380 σ. (*Лазос, Х. Д.* Оптика Древней Греции (на греч. яз.). — Афины : Эолос, 2007. — 380 с.).

УКАЗАТЕЛЬ

- Billiard problem *см. Задача Альхазена*
- Аберрации 188, 242, 349, 428, 503, 573, 607
- Азио 462
- Акциденции 160, 163, 166, 232, 289, 589, 590, 591
- Алгебра 85, 89, 104, 107, 122, 126, 134, 322
- Алгоритм 104, 437, 586
- Алиада 537, 542, 543, 546
- Алхимия 25, 87, 95, 98, 104, 139, 149, 150, 250, 274, 455
- Альбугинеус 595
- Аль-Маназир 137, 159, 175, 180, 210, 266, 268, 299
- Альманах 108
- Альмукантараты 541–544
- Алюминиевые квасцы 461, 464
- Амальгамирование 17, 482, 497, 498, 585
- Ангастара 460
- Антиперипатетики 101
- Апекс 280, 600
- Апологетика 33, 35, 37, 154
- Арианство 39, 84
- Арк-диаграммы *см. Диаграммы Боэция*
- Армилярная сфера (армилла) 12, 113, 125, 135, 168, 530, 539, 540, 542, 544, 548–550, 552, 554, 568, 585
- Армилярная сфера азимутальная 531
- Астрология 25, 29, 41, 57, 63, 65, 87, 95, 101, 107, 108, 113, 126, 139, 141, 149, 274, 284, 539, 558
- Астролябия 12, 17, 109, 113, 125, 135, 155, 168, 185, 284, 286, 450, 530, 531, 538–544, 546–548, 550, 555, 584–586, 609, 610
- Атмосферная рефракция 168, 202, 341, 434
- Аэр 341
- Бенедиктинство 26, 45, 46, 235, 460, 470, 547
- Библион 64, 65
- Биокулярность 166, 167
- Бисер 465
- Блестящие точки 194, 297, 313, 314, 319, 323, 378, 422, 427
- Близорукость 287, 503, 504, 506
- Божественный свет 37, 42, 54, 62, 79, 81, 154, 202, 215, 218, 219, 221, 223, 224, 226, 242, 246, 248
- Борселла 463
- Бревиарий 30
- Верикселли 463–465
- Вивариум 15, 51, 52
- Видимая соразмерность 300
- Визир (безлинзовый) 610
- Визирная линейка 530, 542, 585
- Визирные инструменты 103, 109, 116, 135, 137, 155, 167, 168, 530, 532, 537, 538, 549, 550, 571, 584–586, 610
- Визирный квадрант 550
- Визуальный диаметр 425
- Визуальный конус 154, 169, 190, 199, 211
- Витраж 71, 119, 222, 227, 457, 466, 468–474, 476–478, 481, 584
- Витрарий 464
- Воображение 225, 227, 241, 290, 376, 438, 451, 469, 605–607
- Гало 135, 202, 262, 433, 438, 439, 441
- Гармоника *см. Гармония*
- Гармония 48, 49, 57, 73, 102, 108, 188, 216, 219, 222, 227, 229, 246, 250
- Гафас (Gafas) 99
- Гербарий 16, 67
- Глазурь 456
- Глосса 75, 121
- Гномоника 108, 135–137, 530, 534–537, 585
- Гносеология зеркальности 219
- Гносеология зрения 154, 218, 222, 224, 226, 238, 248, 249, 254, 275, 599
- Гороскоп 57, 101, 149, 544
- Готика 22, 25, 119, 155, 227, 301, 302, 472, 473, 584
- Греческий огонь 67
- Гризайль 119
- Дальнозоркость 287, 502, 504, 508, 511, 520, 585
- Двулучепреломление 577
- Де Аспектибус (De Aspectibus) 172, 176, 177, 179, 180, 343, 592, 603
- Действительные изображения 168, 429

- Диаграммы Боэция 47, 49, 57, 229, 246, 247
 Диалектика 25, 28, 31, 36, 39–42, 55, 56, 65, 72, 80, 137, 226
 Диоктава 49, 57
 Диоптр (диоптра) 12, 17, 189, 195, 537, 538, 542, 550, 566, 567, 571, 610
 Диоптрика 71, 137, 160, 166–168, 172, 183, 185, 188, 189, 202, 203, 259, 307, 312, 337, 341, 344, 358, 379, 397, 433, 566, 568
 Диплопия 371
 Диспут 17, 78, 80, 89, 97, 121, 134, 136, 360, 589
 Доксография 30, 589
 Дух видимости (видения) 403, 409, 410, 415, 589–592, 595

 Жезл Якова 550

 Задача Альхазена 107, 189, 192, 313, 314, 316, 317, 321, 322
 Зажигательная сфера 159, 205
 Закон отражения 166, 176, 312, 323, 324, 330, 331, 341, 378, 422
 Зеркала зажигательные 30, 69, 159, 167, 171–173, 175, 176, 178, 180, 183, 184, 189, 192, 194, 202, 204, 210, 242, 277, 279, 281, 297, 310, 311, 323, 331–333, 335, 337, 338, 340, 354, 389, 429, 430, 433, 434, 483–486, 560, 563
 Зеркала сферические 107, 138, 174, 188, 189, 192, 194, 195, 202, 279, 297, 308, 310–313, 315, 319–321, 324–326, 337, 338, 378, 387, 389, 390, 425–430, 483, 485, 496, 508
 Зеркала 77, 119, 138, 235, 240, 241, 491
 Зидж 84, 108
 Золотое сечение 49, 246, 247
 Зрачок 117, 164, 165, 168, 176, 181–183, 188, 191, 192, 195, 200, 205, 206, 208, 276, 280, 291, 299, 362, 364–366, 371–373, 390, 399, 401, 403, 405, 416, 420, 595–597, 602
 Зрение духовное (умозрение) 239
 Зрение физическое (телесное) 50
 Зрительная пирамида 267, 269–271, 297, 390, 401, 429, 602
 Зрительная пневма 32
 Зрительные корректировки 17, 112, 167, 168, 241, 502
 Зрительные лучи 67, 71, 148, 160–162, 165–168, 170, 176, 190, 192, 197, 198, 206, 225, 238, 239, 254, 255, 263, 266–268, 279, 280, 287, 297, 299, 303, 307, 310, 324, 341, 354, 372, 407, 433, 439, 534, 538, 589, 601–603
 Зрительные формы 277, 297, 349, 589, 590, 597, 604
 Зрительный конус 166, 170, 175, 178, 190, 199, 207, 209, 211, 266, 270, 280, 281, 292, 310, 375, 376

 Иджаз 94
 Иерархия световых форм 21, 89, 137, 155, 222, 227, 229, 236, 259, 267, 294, 302
 Изохроны 536, 585
 Икона 70, 222, 253–259, 261
 Иконика 70, 217, 261
 Иконоборчество 256, 258
 Иконопочитание 255–258
 Иллюминация 126, 221, 224, 478
 Иллюминизм 224, 226, 260
 Ингистере 463
 Индийский круг 112
 Интеллигибельный свет 38, 81, 126, 154, 220, 224, 236
 Интрамиссия 154, 164–166, 177–182, 190, 192, 199, 206, 208, 211, 263, 264, 270, 293, 372, 592, 600
 Исландский шпат 558, 577–580

 Кабошон 503
 Калькера 462
 Каролингский минускул 74
 Каролингское возрождение 24, 72, 74, 75, 125
 Катаракты удаление 117, 164
 Катет отражения 167, 279
 Катет падения 422, 425, 426, 436
 Катоπτрика 17, 52, 67, 71, 107, 127, 137, 160, 162, 166, 167, 172, 173, 175, 176, 178, 180, 183, 188, 189, 192, 194, 202, 266, 307–309, 312, 323, 328, 337, 344, 378, 386, 421, 423–426, 433, 449, 483, 485, 486, 568
 Катоπτрон 218
 Катоπτрософия 218
 Квадрант (кадран) 12, 107, 112, 113, 135, 204, 530, 531, 538, 547, 550, 552–556, 585, 586
 Квадрант азимутальный 531, 554
 Квадрант астролябии 555
 Квадрат теней 542, 550, 555, 556

- Квадривиум 15, 27–29, 48, 49, 54, 56, 58, 74, 79, 85, 122, 126, 131, 132, 155, 265, 296, 303, 304, 383
 Кводлибет (quod libet) 121
 Кодекс 45, 52, 64, 65, 124, 298
 Коллеж 131, 132
 Комментарии 15, 16, 64, 69, 75, 76, 81, 89, 96, 102, 106, 121, 124, 125, 136, 139, 146–148, 173–176, 180, 185, 188, 191, 204, 205, 227, 269, 277, 281, 302, 303, 349, 354, 357, 362, 383, 407, 412, 436, 437, 441, 445, 588, 589
 Компендиум 29, 30, 77, 127, 135, 141, 155, 182, 272, 274, 277, 380, 443, 446
 Компутус (computus) 75
 Конические сечения 105–107, 184, 185, 297, 313–315, 322, 332, 337, 358, 431, 534, 535
 Консолидатура 291, 594, 595
 Конус видения *см.* Зрительный конус
 Конъюнктура 192, 291, 402
 Корнея 291, 595
 Кристаллери 514
 Кружки для глаз 502, 510, 514, 585
 Кубит 608
 Курватура 266, 299
 Куррикулум 78, 79, 132, 147, 295
 Кыбла 112, 535, 542

 Латинская оптика 302, 303
 Ледяная среда 291
 Линза (lenticcia) 144, 150, 182–185, 187–189, 195, 202, 211, 275, 280, 304, 354, 355, 357, 358, 362, 365, 366, 373, 379, 380, 502–508, 511, 585
 Линза очковая 452, 503, 510, 514
 Линзы Висби 558, 571
 Логос 37, 40

 Манихейство 16, 40, 63, 66
 Медресе 86, 88, 92, 94, 100, 115, 536
 Метафизика зеркальности 238
 Метафизика зрения 33, 38, 40, 216, 222
 Метафизика света 33, 36, 40, 216, 219, 222, 233
 Метеорологика 52, 126, 135, 173, 435, 436, 439, 442
 Метеорология *см.* Метеорологика
 Метеоры 135, 167, 433, 438
 Миллефиори 461

 Мнимые изображения 166, 312, 387, 429, 503
 Мозаика 70, 71, 119, 222, 257, 301, 458
 Мойоли 463

 Натурфилософия 12–17, 25, 27, 28, 30, 34, 54, 55, 63, 76, 81, 85, 100, 101, 108, 120, 126, 135, 141–144, 146–148, 159, 245, 259, 263, 265, 268, 276, 285, 331
 Нация 152
 Несториане 44, 66, 69, 89, 90, 102, 171
 Ноктурлабиум 549

 Образы отраженные 242–244, 279, 297, 307, 312, 323, 324, 330
 Образы преломленные 343, 349, 359, 434
 Обсерватория 86, 88, 92, 95, 100, 103, 112–114, 204, 530, 532, 537, 539, 549, 550, 552–554, 561
 Общая перспектива 144, 237, 265, 294, 323, 349, 446, 594, 599, 602
 Общее чувство (sensus communis) 290, 376, 605, 606
 Огненная сила 591
 Онтология 37, 254
 Оппозиция 100, 329, 417, 418
 Оптика античная 165
 Оптика арабская 159, 174
 Оптика византийская 67
 Оптика глазоцентрированная 300
 Оптика зрения 168
 Оптика инструментальная 530
 Оптика метеоров 438
 Оптика средневековая 308
 Оптическая революция 170, 239, 254, 303, 601
 Ораторы 63, 78
 Ортогонали 267, 300, 329, 418
 Остаточные изображения 414
 Отпечаток 155, 163, 171, 229, 415
 Отрезок соприкосновения 425
 Офтальмология 116, 261, 399
 Очки 502

 Палимпсест 125
 Память 92, 224, 290, 607
 Пара Туси 111
 Параллактическая линейка 168
 Пасхалии 58, 72, 75
 Патерностри 465
 Патристика 13, 33, 34, 36–39, 154
 Паутинная оболочка (аранея) 403, 407

- Паэла 462
 Пеллуцид 166
 Первомаатерия 123, 215, 218, 228–230, 302
 Первообраз 220, 222, 228, 242, 258
 Первофеномен 217, 220
 Пергамент 64, 86, 124, 125, 286, 470
 Передача знаний (translatio studii) 44, 59, 60, 74, 84, 127, 247, 546
 Перемены (mutatio) 118
 Пересмотр оптики 204, 205
 Перипатетики 101, 102, 166, 170
 Перспектива (живопись) 207, 266, 267
 Перспектива (наука) 8, 17, 21, 22, 30, 50, 67, 75, 136, 137, 141, 144, 145, 155, 175, 203, 210, 215, 216, 222, 228, 236, 259, 262, 263, 266–268, 272, 275, 278, 283, 288, 293, 299, 589
 Перспектива угла 299
 Перспективисты 136, 272
 Пневма 58, 163–165, 181
 Пневма зрительная *см. Зрительная пневма*
 Подлунный мир 101, 107, 121, 139, 231, 259
 Полуциаметр 388, 426, 427, 430
 Понтия 456, 462
 Постигаемые науки 92
 Постоянство вторых разностей 437
 Преломленный угол 348, 436
 Претерпевания 296, 297, 299, 323, 377, 386, 389, 399, 400, 416, 421, 425, 428, 429, 434–436, 598, 604
 Прикладная оптика 449
 Принцип Герона 353, 388
 Принцип фильтра 367, 370
 Прообразы 37, 38, 51, 68, 69, 123, 168, 186, 188, 248, 249, 455, 502, 505, 506, 531, 543, 611
 Пропедевтика 30, 80
 Прямая сторона (latus rectum) 333, 431, 432
 Прямое видение 160, 385, 390, 433
 Психология зрения 166, 294, 413, 604
 Пыляющая сфера 189, 202, 203, 205
 Радуга 67, 135, 140, 145, 183, 192, 204, 205, 221, 262, 264, 270, 275, 284, 285, 288, 433, 436, 438–441
 Разрешающая способность 412, 415, 419, 604
 Различительная способность *см. Разрешающая способность*
 Реконкиста 25, 100, 121
 Ренессанс 17, 24, 81, 111, 254, 266, 299–301, 304, 353, 379, 383, 402, 418, 446, 501, 585
 Репозитарий 605, 607
 Реформация 26, 130, 145, 151, 153
 Рефракция 42, 145, 154, 172, 199, 211, 341, 343, 344, 346, 348, 349, 351–353, 369, 370, 390, 391, 433, 507, 596
 Самоотражение 242
 Свет знаний 25, 41, 54
 Свет из глаз 165, 603
 Свет разума 226, 260
 Световая символика 50, 224
 Светоносец (Люцифер) 81
 Светоносное тело 297, 390, 438, 439, 441
 Светоформы 533
 Свободные искусства 28, 29, 38, 41, 47, 49, 54–57, 65, 67, 74–76, 79, 122, 128, 131, 132, 134, 140, 153, 265
 Секундина 291
 Символ веры 37
 Синаугогия 165, 282
 Синестазис 165
 Синус (джайб) 106–108, 185
 Сканьо 463
 Скенография (сценография) 12, 67, 166, 168, 300
 Склера 291, 361, 362, 373, 402, 594, 595
 Скриптории 15, 26, 47, 52, 64, 72, 74, 124, 236, 505
 Смальта 457, 458, 465, 584
 Сокровище оптики 127, 134, 144, 155, 172, 187, 189, 191, 202, 266, 297, 328, 338, 372, 388, 425, 533, 596, 597, 600, 608
 Солнечный камень 575
 Софисты 29, 35, 63
 Сохранение видимостей 239
 Сохранение форм 604
 Спекулярии 150, 489
 Стекло хрустальное 466, 511
 Стекловидное тело 281, 291, 344, 362, 363, 365, 369, 373, 375, 379, 380, 402, 590, 600
 Стеклоделие 453–460, 468, 502, 510, 584, 585
 Стеклодувная трубка (ферро) 463, 466, 498
 Стекольный флюс 461

- Стереографическая проекция 75, 137, 538, 539, 541, 542, 544, 548
 Стиллат 266, 299
 Стиццадора 462
 Столп света 219
 Субстанция 21, 32, 49, 70, 89, 102, 150, 163, 218, 225, 226, 228–230, 232, 234, 239, 248, 249, 255, 289, 343, 351, 353, 354, 399, 589–591, 593, 608
 Суммы 136
 Фарос 535
 Сферическая аберрация 195, 202, 312, 337, 391, 425, 429, 508
 Схоластика 17, 22, 25, 40, 43, 72, 79, 80, 119, 120, 122, 126, 136–138, 141, 155, 227, 236, 247, 262, 263, 589
 Схолия 29, 30
 Табернакли 119, 479
 Тактильные теории 160, 162, 181, 207
 Тени 177, 189, 204, 239, 390, 394, 533–536, 576, 585
 Техне 29, 102
 Тимпан 531, 541–545
 Томизм 138, 142, 352
 Торкветум 543
 Точка зрения 100, 166, 208, 260, 315, 319, 330, 449, 513, 599
 Тривиум 27, 28, 54, 56, 74, 122, 131, 296
 Увеальная оболочка (увеа) 291, 373, 594, 595
 Угол зрения 161, 412
 Угол отражения 319
 Угол падения 324, 348, 396, 425
 Угол преломления 346, 348, 396, 436, 438
 Умножение образов (multiplicacione specierum) 259, 273, 277–279, 283, 285, 289, 330, 331, 343, 350, 353, 602
 Универсальная плоскость 542
 Универсальный инструмент 276, 392, 543
 Университеты 118, 128
 Фаворский свет 21, 62, 220
 Факих 94
 Фантазия 290, 605
 Фаросский маяк 557, 558, 561–563, 565
 Физика 104
 Физиология зрения 159, 182, 189, 398, 413
 Философский камень 250, 472, 482
 Фиоларо 460, 464
 Фокус, фокусное расстояние 14, 312, 314, 327, 333, 336, 337, 357, 358, 426, 431, 486, 503, 504, 516, 562
 Формы 150, 194, 198, 233, 264, 293, 363, 398, 401, 413
 Фотоника 217
 Францисканство 16, 136–138, 140, 142, 228, 233, 236, 237, 273, 293, 294, 479, 518
 Фритта 462
 Хартофилакс 68
 Хиазм (Перекрест) 166, 193, 199, 281, 290, 292, 361, 370–373, 375, 401, 403, 412
 Хрусталик 164, 168, 181–183, 188, 190, 193, 198–200, 205, 207–209, 254, 270, 280, 281, 291, 292, 304, 344, 362–369, 371, 373–375, 379, 380, 401–403, 406, 413, 504, 558, 595–600, 602, 604
 Цветовая символика 62, 246, 251
 Читальные камни (сегменты Альхазена) 18, 155, 188, 217, 275, 502, 505, 507–509, 511, 518, 585
 Эйдология 219
 Эйдолы 71, 161, 163, 165
 Экспериментальная наука 141, 274, 283–285, 304, 486, 611
 Экстремиссия 165, 166, 178, 190, 192, 206, 210, 263, 287
 Эмаль 150, 458, 465, 469, 520
 Эманация 32, 54, 155, 162, 169, 190, 221, 228, 230, 232, 248, 254, 264, 289, 302
 Эмпирическое знание 92, 575
 Энтазис 266, 299
 Эпистиль 299
 Этимологии 54–58
 Эфир 56, 58, 160, 341

ОГЛАВЛЕНИЕ

От научных редакторов	5
От авторов	7
Предисловие: оптика Средневековья как служанка религии	11
<i>Часть 1. Интеллектуальные достижения Средневековья</i>	
Введение	21
<i>Глава 1</i>	
Наука и религия в Средние века	23
1.1. Границы Средневековья, легенда о «темных веках»	23
1.2. Античное наследие — тривиум и квадривиум	27
1.3. Кризис античной науки, неоплатонизм	30
<i>Глава 2</i>	
Два метода познания. Метафизика света и зрения	33
2.1. Споры апологетов с язычниками	33
2.2. Отношение христианства к науке	35
2.3. Восточная патристика, метафизика света	36
2.4. Западная патристика, метафизика зрения	38
2.5. Блаженный Августин, метафизика света и зрения	40
<i>Глава 3</i>	
Сохранение и передача античных знаний	44
3.1. Роль монашества, первые средневековые школы	44
3.2. Бозций и его арк-диаграммы	47
3.3. Кассиодор и его Вивариум	51
3.4. Исидор Севильский и его «Этимологии»	54
3.5. Ирландцы и Беда Достопочтенный	58
<i>Глава 4</i>	
Византия и оптическое наследие Античности	61
4.1. Византийская культура и образование	63
4.2. Византийская оптика	67
4.3. Оптические аспекты византийского искусства	70
<i>Глава 5</i>	
Начала схоластики	72
5.1. Каролингское возрождение. Алкуин и Эриугена	72
5.2. Оттоновские времена. Первые городские школы	76
5.3. Становление схоластики. Ансельм, Абельяр, Тьерри	79
<i>Глава 6</i>	
Арабская мудрость и технические знания востока	83
6.1. Ислам и античное наследие. VI–VII вв.	85
6.2. Научные достижения мусульман в IX–XI вв.	90
6.3. Кордовский халифат. XII–XIII вв.: взлет и падение	98
6.4. Арабская классификация наук. Конкретное знание	101

Глава 7

Готика и университеты, наука и религия	118
7.1. Реконкиста, шартрская школа, книжная культура	121
7.2. Переводческая деятельность	125
7.3. Становление университетов	128
7.4. XIII–XIV вв.: смена авторитетов. Перспективисты	136
7.5. Первые церковные запреты. Парижский эдикт	145
7.6. Астрология, алхимия, магия	149
7.7. Через бедствия к Реформации и Возрождению	151

Заключение	154
-----------------------------	-----

Часть 2. Становление арабской оптики (аль-Маназир)

Введение	159
---------------------------	-----

Глава 8

Арабы и античное наследие	160
8.1. «Тактильные» зрительные теории	160
8.2. Акциденции Аристотеля и синтез Галена	163
8.3. Особенности и хронология античной оптики	165
8.4. Три оптические традиции: связь времен	169
8.5. Арабские переводы — трансляция оптических знаний	170

Глава 9

Начала арабской оптики	174
9.1. Рождение аль-Маназир: Ибн Лука, аль-Кинди и их последователи	175
9.2. Развитие аль-Маназир: Хунайн ибн Исхак, ар-Рази и Ибн Зал	180

Глава 10

Реформа оптики: Альхазен и его «Сокровище оптики»	186
10.1. Жизнь и труды Альхазена	186
10.2. Революционные идеи Альхазена	189
10.3. Структура и содержание «Сокровища оптики»	191
10.4. Свет и зрение: эксперименты Альхазена	195
10.5. Механизм зрения по Альхазену	198
10.6. Диоптрика и катоптрика Альхазена	202
10.7. Арабская оптика после Альхазена	204

Заключение	210
-----------------------------	-----

Часть 3. Истоки латинской оптики (Perspective)

Введение	215
---------------------------	-----

Глава 11

Метафизика света и зрения	216
11.1. Метафизика света: определение и аллегории	216
11.2. Световая метафизика Античности	219
11.3. Становление христианской концепции	220
11.4. Метафизика света и зрения в учении Августина	222

Глава 12

Иерархия света Роберта Гроссетеста	227
12.1. Трактат «О свете, или О начале форм»	228
12.2. Свет и геометрия: линии, углы и фигуры	231
12.3. Световая метафизика позднего Средневековья	233

Глава 13

Гносеология зрения и метафизика зеркальности	238
13.1. Зрительные лучи как инструмент познания	238
13.2. Зеркальные отражения и познавательные рефлексии	240
13.3. Аберрации отраженных образов и искажения действительности	242

Глава 14

Метафизические концепции цветовых форм	245
14.1. Христианское понимание цвета	246
14.2. Хроматический код Средневековья	249
14.3. Запечатленный образ и цвета иконописи	253
14.4. Метафизика и современная наука	259

Глава 15

Латинская наука Перспектива	262
15.1. У истоков Перспективы	262
15.2. Этимология термина Перспектива	265
15.3. Дебаты о методологии Перспективы	268

Глава 16

Средневековые перспективисты	272
16.1. Роджер Бэкон и становление Перспективы	272
16.2. Роджер Бэкон и математизация Перспективы	278
16.3. Перспектива как экспериментальная наука	283
16.4. Бэконовская теория света и зрения	288
16.5. «Перспективы» Пеккама и Вителло	293
16.6. Законы Перспективы: Средневековье и Ренессанс	299

Заключение	302
-----------------------------	-----

Часть 4. Математические основы Перспективы

Введение	307
---------------------------	-----

Глава 17

Достижения средневековой оптики. Катоптрика	308
17.1. Катоптрика Ибн Луки и аль-Кинди	308
17.2. Задача Альхазена	312
17.3. Геометрия отражений. О формировании отраженных образов	323
17.4. Причинный анализ отражений	328
17.5. Параболические зажигательные зеркала	331

Глава 18

Диоптрика	341
18.1. Геометрия преломлений. О формировании преломленных образов	343
18.2. Причинный анализ преломлений	350
18.3. Закон преломления. Было или нет открытие Ибн Зала?	354
18.4. О преломляющих поверхностях глаза	359

Глава 19

Глаз как оптическая система	361
19.1. Анатомия глаза по Альхазену	361
19.2. Глаз и проецируемое изображение	365
19.3. Оптический механизм глаза	368
19.4. Механизм зрения по Альхазену. Единая теория света и зрения	372

Заключение	378
-----------------------------	-----

Часть 5. «Перспектива» Вителло: компиляция или шаг вперед?**Введение** 383*Глава 20***Структура трактата. Прямое видение. Книги I–II** 385

20.1. Геометрическое основание 387

20.2. Прямое видение 390

20.3. Свет в однородных средах 392

20.4. Проблемы световой энергетики 393

*Глава 21***Механизм формирования зрительных ощущений. Книги III–IV** 398

21.1. Строение глаза 398

21.2. Реконструкция анатомии глаза 405

21.3. Механизм возникновения зрительных образов 407

21.4. Видение двумя глазами. Психолого-физиологические аспекты 412

21.5. Особенности зрительного восприятия 416

*Глава 22***Катоптрика — наука об отражениях. Книги V–IX** 421

22.1. Особенности терминологии. Плоские зеркала 421

22.2. Выпуклые зеркала 425

22.3. Вогнутые зеркала 428

*Глава 23***Диоптрика и метеоры. Книга X** 433

23.1. Третий способ видения 433

23.2. Количественный анализ преломления 436

23.3. Оптика метеоров 438

Заключение 443**Часть 6. Прикладная оптика****Введение** 449*Глава 24***Стекло** 453

24.1. Совершенствование и распространение технологий стеклоделия 454

24.2. Венецианское стекло. Секреты острова Мурано 459

24.3. Искусство витража 468

24.4. Стекланные светильники 476

*Глава 25***Зеркала** 482

25.1. Зажигательные зеркала 483

25.2. Предсказательные зеркала 486

25.3. Магические зеркальные системы 492

25.4. Искажающие зеркала 495

25.5. Катоптрическая революция. Венецианские зеркала 498

*Глава 26***Очки** 502

26.1. Глаз и линза 502

26.2. Предыстория: первые линзы и читальные камни 505

26.3. Изобретение очков: дар Божий или дьявольское наваждение? 510

26.4. Развитие конструкции очков 516

26.5. Очки в изобразительном искусстве 523

Глава 27

На пороге инструментальной оптики	530
27.1. Камера-обскура	532
27.2. Средневековая гномоника	534
27.3. Астролябия	538
27.4. Армилярные сферы и другие визиры	548
27.5. Квадрант	550

Глава 28

Оптические загадки Средневековья	557
28.1. Телескопические зеркала Александрийского маяка	558
28.2. Средневековый телескоп	565
28.3. Линзы Висби	571
28.4. Солнечный камень викингов	575
28.5. Туринская плащаница	580
Заключение	584
Послесловие	587
Приложения	589
Литература	614
Указатель	626

*Сергей Константинович СТАФЕЕВ
Максим Георгиевич ТОМИЛИН*

ПЯТЬ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ ОПТИКИ: СРЕДНЕВЕКОВЬЕ

Учебное пособие

Зав. редакцией
физико-математической литературы *Н. Р. Нигмадзянова*
Корректор *Т. А. Кошелева*
Подготовка иллюстраций *А. П. Маркова*
Верстка *Е. Е. Егорова*
Выпускающие *Н. А. Крылова, Т. С. Симонова*

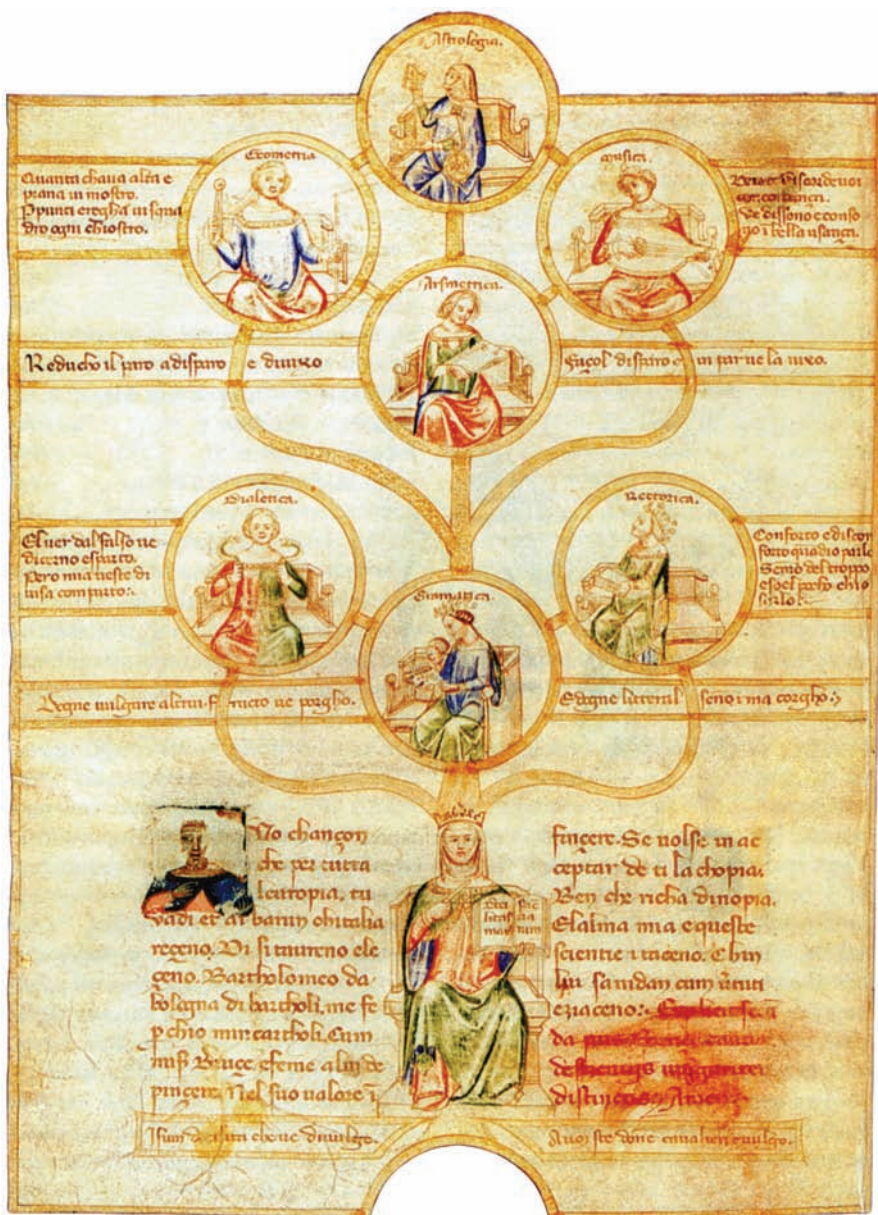
ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.07.953.П.007216.04.10
от 21.04.2010 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
192029, Санкт-Петербург, Общественный пер., 5.
Тел./факс: (812) 412-29-35, 412-05-97, 412-92-72.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 14.04.15.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 70×100^{1/16}.
Печать офсетная. Усл. п. л. 52,00. Тираж 500 экз.

Заказ № .

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных материалов
в ОАО «ИПК «Чувашия»».
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, д. 13.
Тел.: (8352) 56-00-23



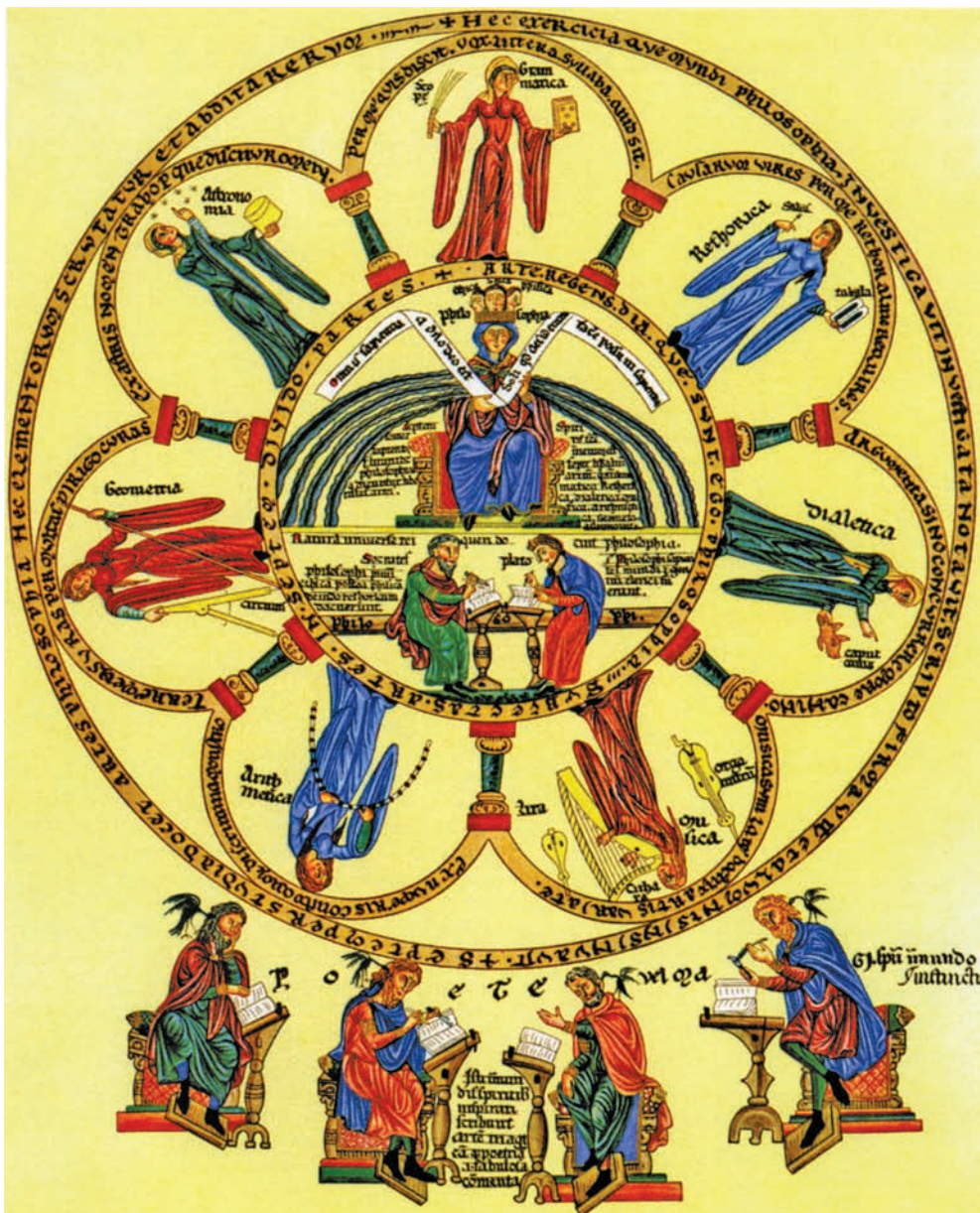
Ил. 1
Символическое средневековое изображение
семи свободных искусств в образе муз.
Вверху — математический квадриум,
внизу — гуманитарный тривиум
(из собрания музея Конде, Франция) [42], [43]



Ил. 2
Музыкальная гармония по Гвидо,
перенесенная на пропорции человеческой ладони.
Манускрипт XI в.
Библиотеки аббатства Монте-Кассино [189]

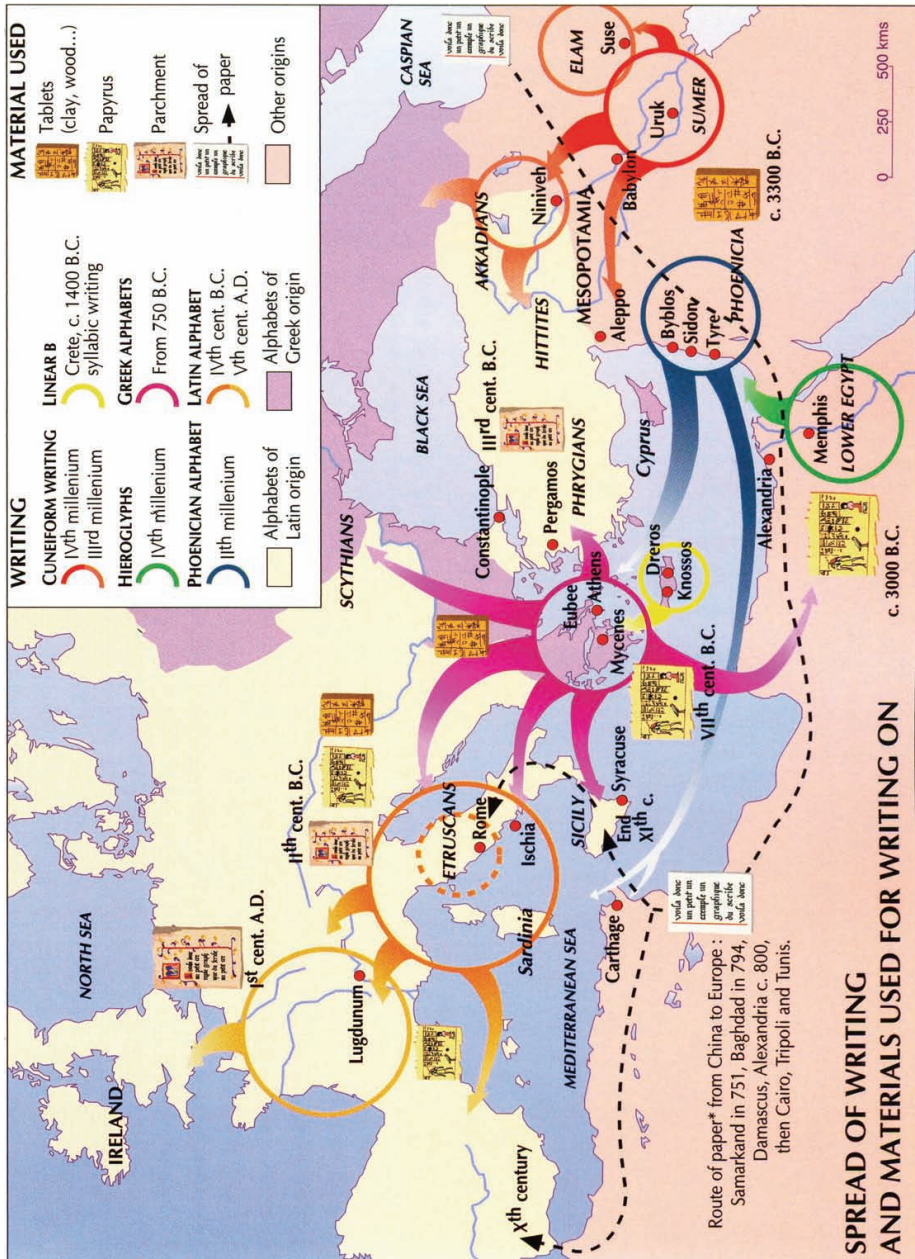


Ил. 3
Книги на цепях.
Реконструкция средневековой
монастырской библиотеки.
Экспозиция музея г. Херефорд, Уэльс
(фото авторов)



Ил. 4

Философия и семь свободных искусств.
 Миниатюра из книги Геррады фон Ландсберг «Hortus Deliciarum», XII в.
 Библиотека аббатства Дорбье



Ил. 5
Распространение письменности и используемых материалов в средневековой Европе [184]



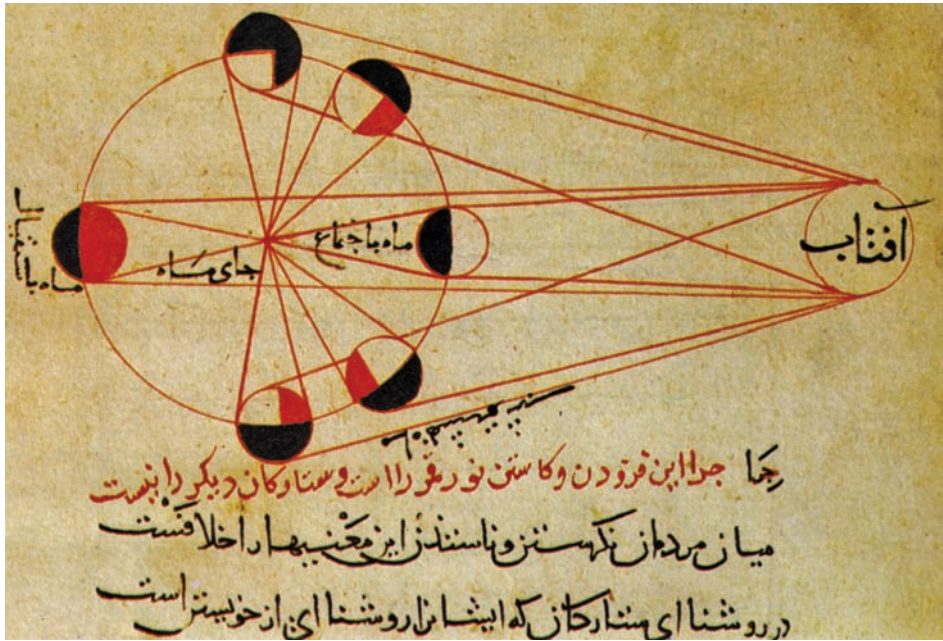
Ил. 6
Переплетенная книга — пергаментный кодекс.
Чередуются желтые и белые страницы
из-за разницы в окраске
внешней (волосяной) и внутренней
сторон кожи [164]



Ил. 7
Эффекты естественного освещения
Софийского собора



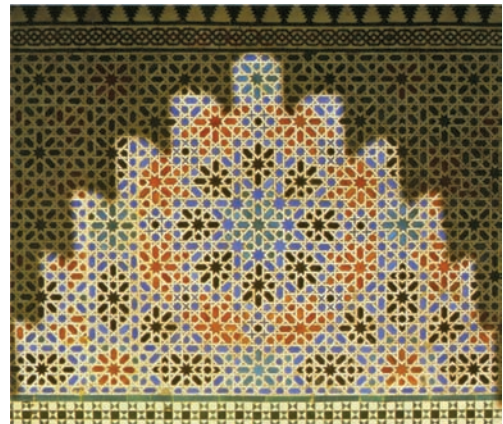
Ил. 8
Круговой световой барабан Софийского собора



Ил. 9
 Схема ал-Бируни, объясняющая фазы Луны [279]



Ил. 10
 Орнамент в арабской архитектуре
 стиля мудехар.
 Сады Хенералифе, Андалусия
 (фото авторов)

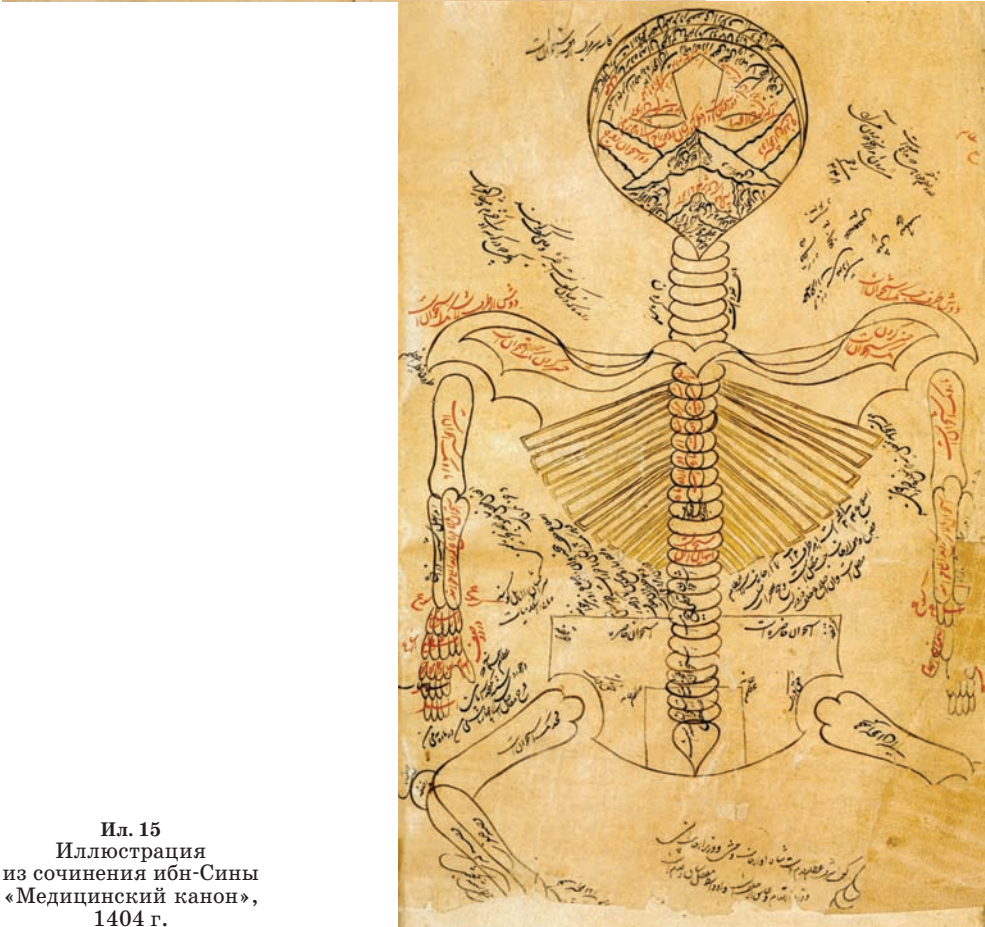


Ил. 11
 Орнаментальная стена
 в королевском дворце в Алказаре.
 Севилья
 (фото авторов)



Ил. 13
Человек и космос.
Планетарные сферы, зодиак и лунные фазы [279]

Ил. 14
 Схема ал-Бируни,
 поясняющая
 затмение Солнца [279]



Ил. 15
 Иллюстрация
 из сочинения ибн-Сины
 «Медицинский канон»,
 1404 г.



Ил. 16
Отреставрированная карта мира,
составленная в XII в. Идриси
(фото авторов)



Ил. 17
К вопросу о нахождении
блестящей точки
на сферическом зеркале

Ил. 18
Комментарий
Камал ал-Дин ал-Фарси
к оптическим работам
ал-Хайтама
«Пересмотр оптики»





Ил. 19
Божественный свет в алтарной части собора
(фото авторов)



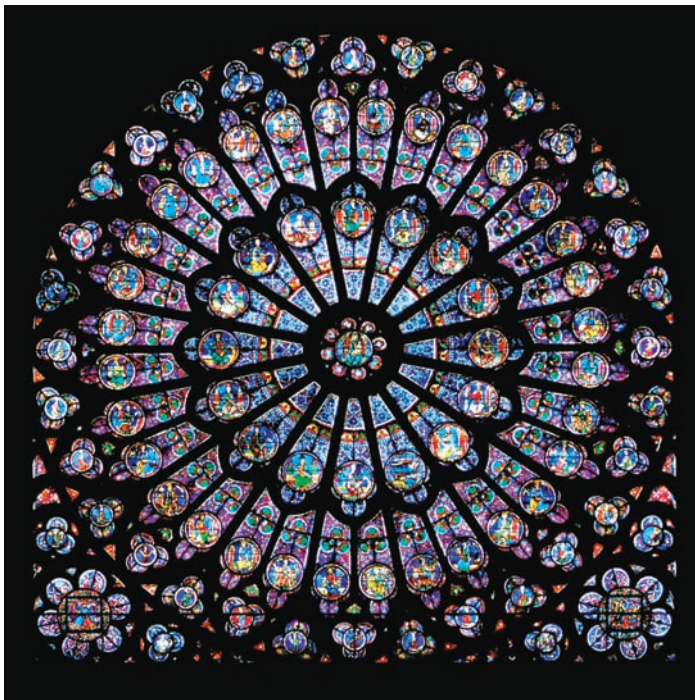
Ил. 20
Мусульманская мечеть



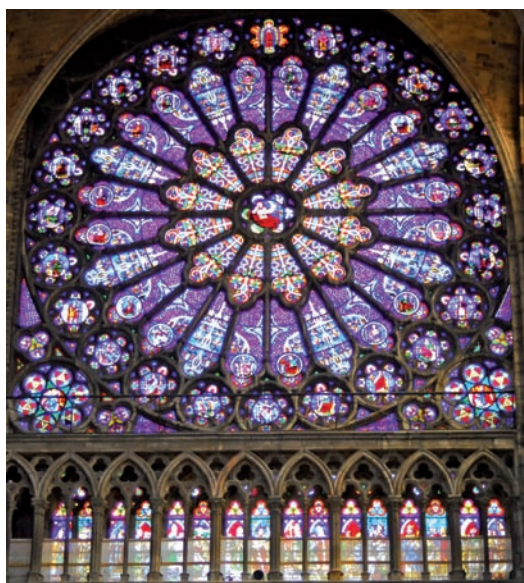
Ил. 21
Витражи в готическом храме



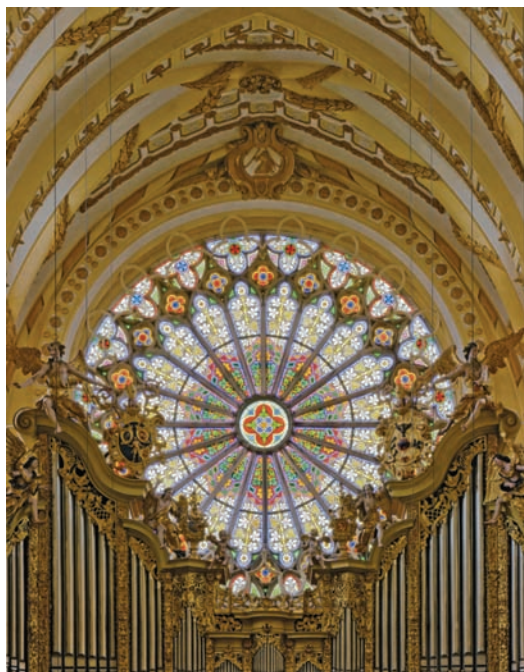
Ил. 22
Аллегория воскипающего светоизлияния



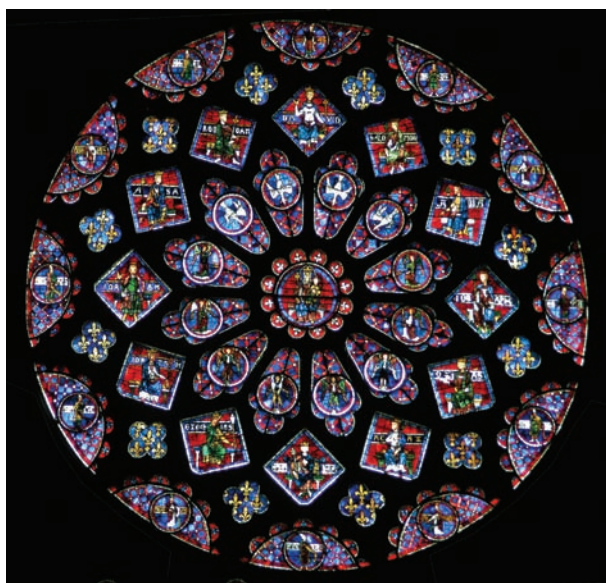
Ил. 23
Северная роза в парижском соборе Нотр-Дам (1134–1194)



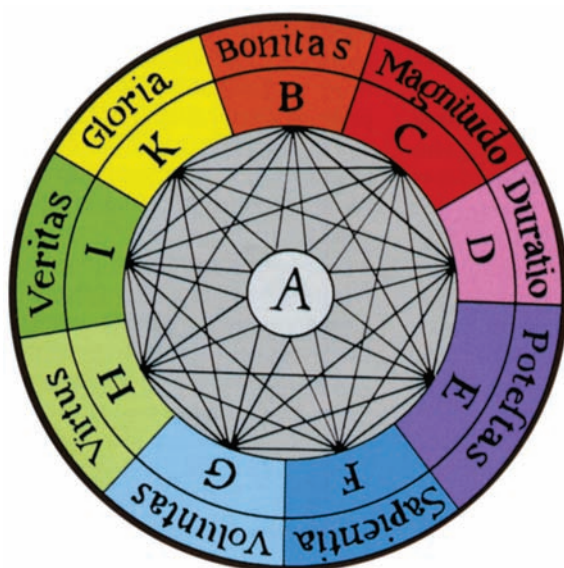
Ил. 24
Роза в церкви Сен-Дени
(фото авторов)



Ил. 25
Роза собора в Шартре
(фото авторов)



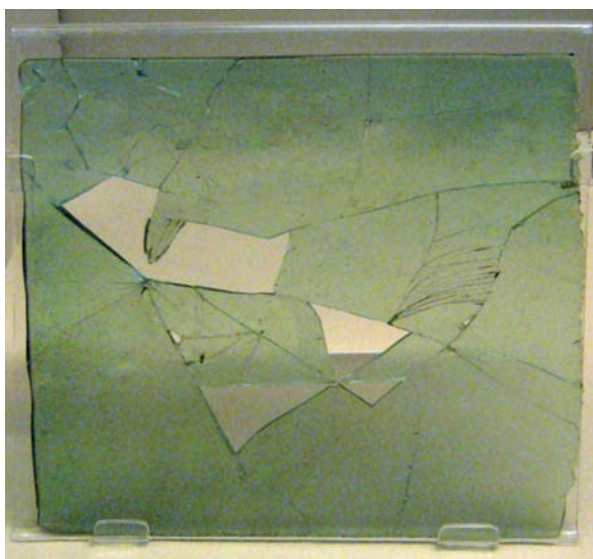
Ил. 26
 Типичная витражная роза готического собора
 (фото авторов)



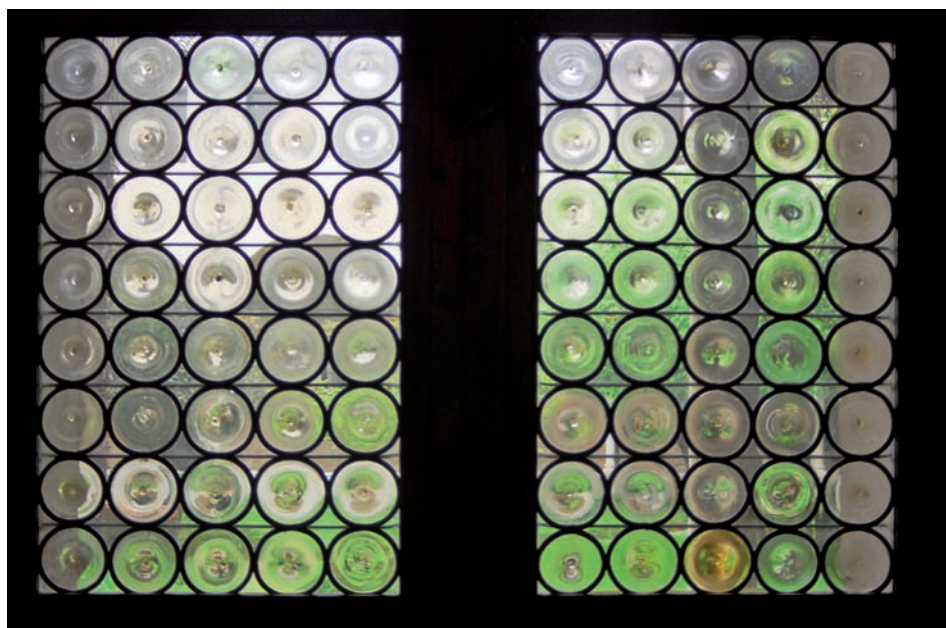
Ил. 27
 Гармонические круги цветов.
 Анализ чередования цветовых оттенков видимого света



Ил. 28
Световая пирамида в интерьере готического храма



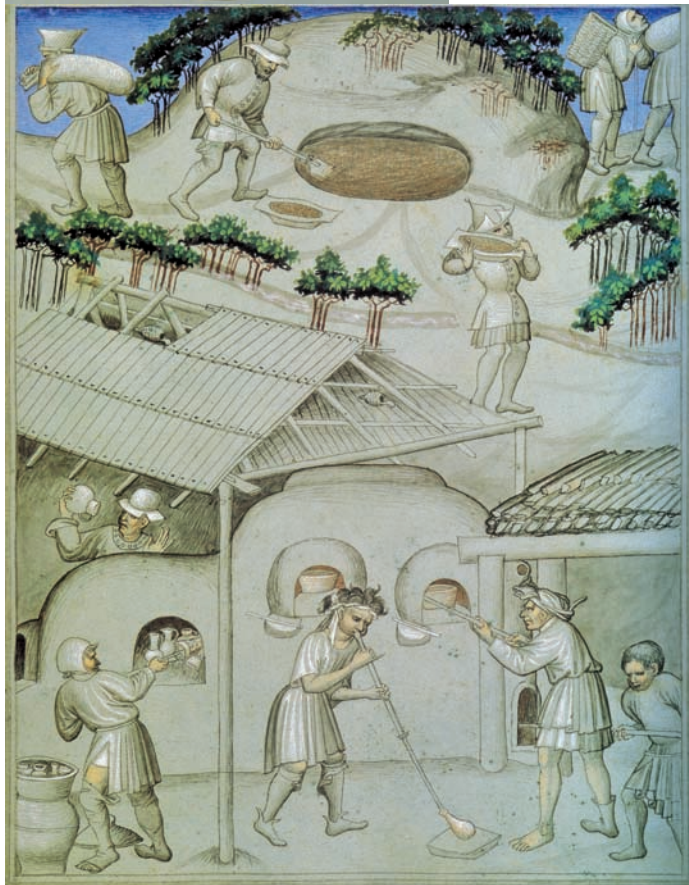
Ил. 29
Образец оконного стекла, I в.
Из собрания
Британского национального музея, Лондон
(фото авторов)



Ил. 30
Оконное стекло в виде донышек стеклянных пузырей, спаянных в непрозрачный блок
(фото авторов)



Ил. 31
Декоративная стеклянная ваза
IX–XI вв. Сирия или Египет.
Из собрания
Британского национального музея,
Лондон
(фото авторов)



Ил. 32
Полный цикл
технологии
получения сырья
и варки стекла
[239]

Ил. 33
Бокал, изготовленный
венецианским мастером
Аддревандино, XIV в.
Из собрания
Британского национального
музея [359]



Ил. 34
Пластинка
из алебастра
с изображением
святого семейства,
наблюдаемая
на просвет.
Из собрания
национального
музея Каподимонте,
Неаполь
(фото авторов)



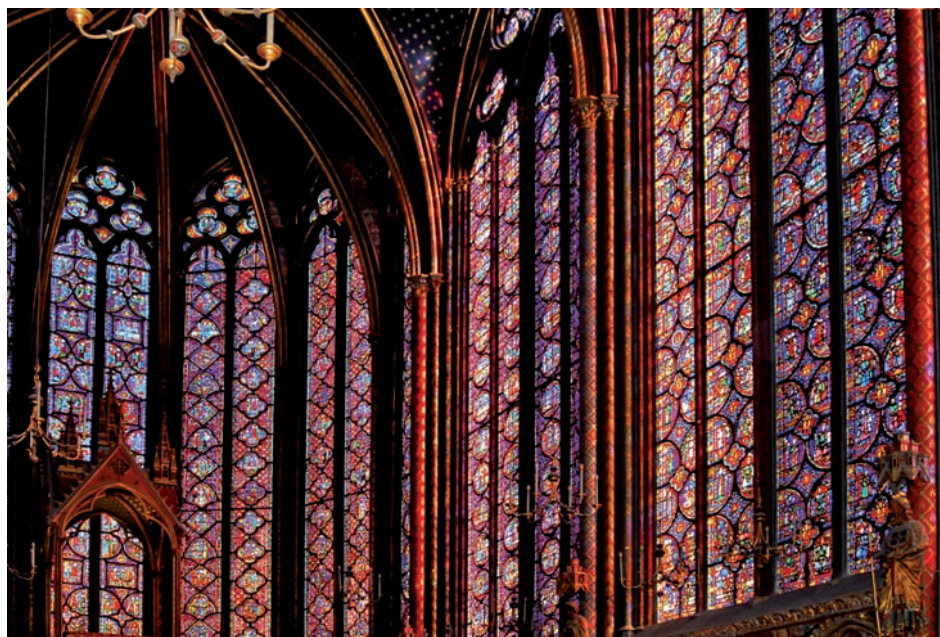
Ил. 35
Стеклянный медальон
с многофигурным изображением.
Венеция, XIII в.
Из собрания
Британского национального
музея [359]



Ил. 36
Средневековый кубок
с изображением знатных венецианцев.
Из собрания музея стекла в Мурано, Венеция
(фото авторов)



Ил. 37
Фрагмент витража
в кафедральном соборе Кентерберри
с изображением головы короля Симей.
Примерно 1180 г. [121]



Ил. 38
Бывшая часовня Сен-Шапель королевского дворца.
Верхняя капелла, Париж
(фото авторов)



Ил. 39
Бывшая часовня Сен-Шапель королевского дворца.
Верхняя капелла, Париж [290]



Ил. 40
Фрагмент витража
из верхней капеллы
Сен-Шапель,
Париж [290]



Ил. 41
Роза в базилике
аббатства Сен-Дени
(фото авторов)



Ил. 42
Лампа XII в.
Жирар.
Обнаружена при раскопках
в аббатстве Туссен д'Анже
(фото П. Давида из музея г. Анже)



Ил. 43
Выпуклое настенное зеркало,
получаемое выдуванием стеклянной сферы.
Внутренняя поверхность покрывалась ртутью.
Германский национальный музей
Ганса фон Ауфзесса, Нюрнберг
(фото авторов)



Ил. 44
Современный салон амальгамированных выпуклых венецианских зеркал,
изготовленных по средневековой технологии, Венеция
(фото авторов)



Ил. 45
Гобелен с изображением средневековой Венеции.
Из собрания музея Ватикана
(фото авторов)



Ил. 46
Изображение глаз на барельефах.
Из собрания Музея очков в Пьеве ди Кадоре, Италия
(фото авторов)



Ил. 47
Рыцарский шлем с очками короля Генриха VIII.
Из собрания музея Тауэр, Лондон
(фото авторов)



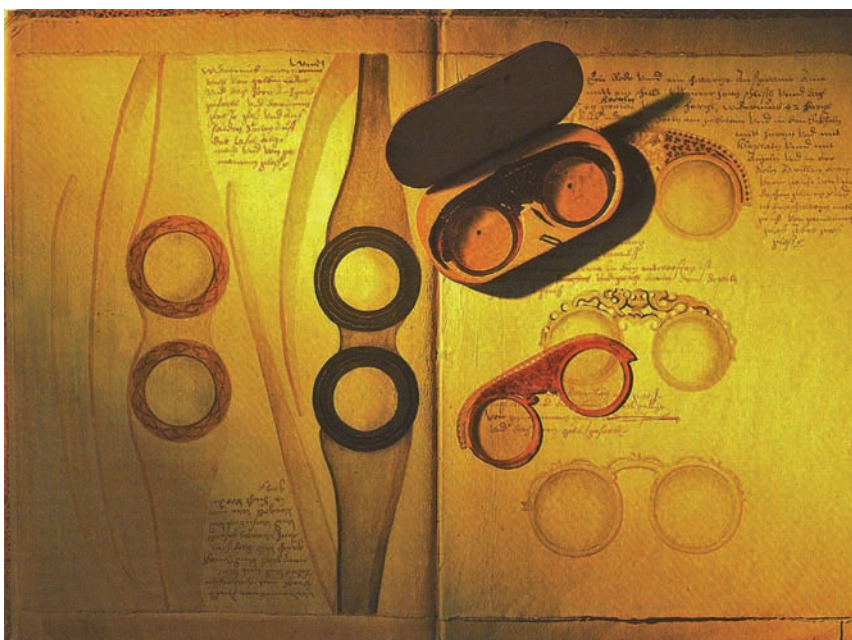
Ил. 48
Часть росписи зала Капитула с изображением кардиналов,
использующих первые очки.
Монастырь Сан Николо в Тривизо, Италия
(фото авторов)



Ил. 49
Фреска Томмазо да Модена
с изображением
кардинала Гуго из Сен-Шера
с очками на лице (1352)



Ил. 50
Апостол Петр
с изображением клепаных очков.
Картина Фридриха Герлина
в пределе алтаря церкви св. Якова
в Ротенбурге, 1466 г.



Ил. 51
Копия заказа на изготовление очков XVII в., Нюрнберг.
Из собрания музея Эрнста Аббе в Йене



Ил. 52
Очки с футляром.
Из собрания музея Эрнста Аббе в Йене



Ил. 53
Музей очков в Пьеве ди Кадоре, Италия.
Современный вид
(фото авторов)



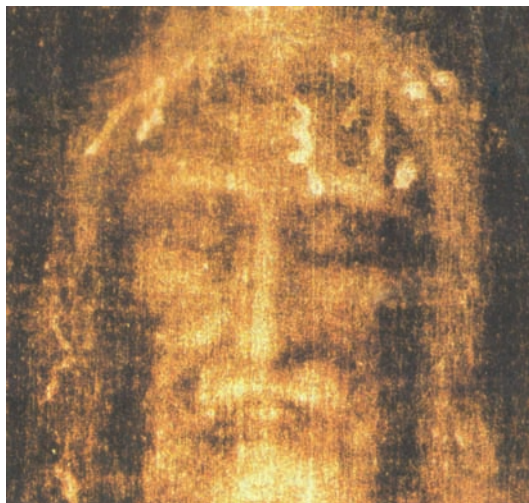
Ил. 54
Серебряное ожерелье с линзоподобными вставками из горного хрусталя.
Поражает филигранная работа полировальщика [352]



Ил. 55
Сравнительная демонстрация дисторсии
сферической (слева) и гиперболической (справа) линз
(Музей оптики, Университет ИТМО, Санкт-Петербург)



Ил. 56
Гравировка по камню, о. Готланд
(Исторический музей, Стокгольм)



Ил. 57
Изображение лица на Туринской плащанице.
Собор св. Иоанна Крестителя, Турин