

ПОСВЯЩАЕТСЯ
ПРОФЕССОРУ ДОКТОРУ ИОСИФУ ВЮРШМИДИУ
В ЗНАК БЛАГОДАРНОСТИ ЗА СОДЕЙСТВИЕ
В РЕДАКЦИИ ЭТОГО НОВОГО ИЗДАНИЯ



**IN IHRER ENTWICKLUNG UND IN IHREM
ZUSAMMENHANGE**

Dargestellt von
FRIEDRICH DANNEMANN

**DAS EMPORBLOHEN DER MODERNEN
NATURWISSENSCHAFTEN BIS ZUR
AUFSTELLUNG DES ENERGIEPRINZIPES**

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

Ф. ДАННЕМАН

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ИХ РАЗВИТИИ
И ВЗАИМНОЙ СВЯЗИ**

РАСЦВЕТ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
ДО УСТАНОВЛЕНИЯ
ПРИНЦИПА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Перевод со 2^{го} немецкого издания

П. С. ЮШКЕВИЧА

**ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

Редакция Э. А. ЦЕЙТЛИНА
Оформление Н. Я. КОСТИНОЙ
Переплет, титул, заставки, концовки

А. В. КРЕЙЧИКА

Корректурa М. С. ХРИПУНОВОЙ
За выпуском наблюдал В. Т. Тимофеев.

ОТ РЕДАКЦИИ

Как и в первых двух томах, Даннеман и здесь дает богатый фактический материал по истории естествознания. Перед читателем нарисована картина развития его основных ветвей и нарисована несомненно мастерским литературным пером. Показ того, как эти отдельные ветви в своем развитии все больше и больше начинают переплетаться между собой, обнаруживая многочисленные связи — этот показ создает благоприятное впечатление цельности и определенной направленности всего труда Даннемана.

Однако и в этом томе сказывается буржуазно-эклектическое мировоззрение Даннемана, отразившееся на трактовке ряда, как общих, так и частных проблем истории. Редакция не сомневается в том, что советский читатель достаточно силен, чтобы самому справиться с критикой отдельных трактовок автора. Тем не менее, выпуская книги буржуазного историка, редакция считает своей обязанностью облегчить читателю этот труд критики, предпосылая книге предисловие, и снабжая ее примечаниями (написанными З. А. Цейтлиным).

* * *

Третий том „Истории естествознания“ Даннемана посвящен развитию естествознания за период от середины XVIII в. до сороковых годов XIX в.

Этот период для развития естествознания является во многих отношениях переломным. В течение его нарастало и осуществилось „третье восстание буржуазии“, — Великая французская революция — которая, говоря словами Энгельса, явилась первым восстанием, доведенным до полной победы буржуазии над аристократией. Рост экономической и политической мощи молодой буржуазии неразрывно связан с ростом науки.

Современное естествознание начинается вместе с началом борьбы буржуазии против феодализма и папства; в этот период своего развития оно растет и крепнет вместе с ростом и усилением буржуазии. „Шаг за шагом, пишет Энгельс, вместе с расцветом буржуазии шел гигантский рост науки. Возобновился интерес к астрономии, механике, физике, анатомии, физиологии. Буржуазии, для развития ее промышленности, нужна была наука, которая бы исследовала свойства материальных тел и формы проявления сил природы. До этого же времени наука была смиренной служанкой церкви, и ей не было позволено выходить за пределы, установленные верой; короче, она была чем угодно, только не наукой. Теперь

наука восстала против церкви; буржуазия нуждалась в науке и приняла участие в этом восстании"¹.

В истории современного естествознания можно четко проследить, что те этапы, через которые оно проходило, неразрывно связаны с состоянием политической борьбы буржуазии, с этапами ее политической истории и истории развития производительных сил.

Первые два восстания буржуазии — так называемая реформация и Великая крестьянская война 1525 г. в Германии и английская революция — кончились компромиссами, буржуазия не добилась в них полной победы. Политический компромисс искал свое оправдание в создании соответствующей компромиссной идеологии. Вот почему в этот период естествознание, будучи вначале „насквозь революционным“, в лице Ньютона „завершает этот период поступатом божественного первого толчка“. „Но что особенно характеризует рассматриваемый период, пишет Энгельс, так это — образование известного цельного мировоззрения, центром которого является учение об абсолютной неизменности природы“². Естествознание этого периода насквозь метафизично, оно занимается накоплением фактов, выполняет задачу их описания и классификации.

Настоящий том Даннемана посвящен фактически второму этапу развития естествознания, который существенно отличается от первого. Мы наметим только самые основные черты этого периода.

Одной из важнейших черт его является расцвет французского материализма.

Как известно, современный материализм развился вначале на английской почве. „Первоначальной родиной всякого современного материализма, начиная с XVII столетия, говорит Энгельс, является именно Англия“³. Родоначальником его Маркс называет Бэкона. Но если „у Бэкона, своего первого творца, материализм включает еще в наивной форме зародыши всестороннего развития“, „то в своем дальнейшем развитии материализм становится односторонним“, абстрактным и „враждебным человеку“. Таков материализм Гоббса.

Это был материализм аристократии, объявивший себя „философией, которая как раз подходит для ученых и образованных людей, как противовес религии, являющейся достаточно хорошей для огромной необразованной народной массы, включая и буржуазию“ Этот „материализм был ненавистен буржуазии не только за свою религиозную ересь, но и за его антибуржуазные политические связи“. В XVIII в. „материализм перекочевал из Англии во Францию“. Но исторические условия развития французской буржуазии определили совершенно иное ее отношение к материализму. Как указывает Энгельс, материализм и во Франции вначале оставался исключительно аристократическим учением. „Но скоро

¹ Ф. Энгельс, «Развитие социализма от утопии к науке», предисловие к англ. изд.

² К. Маркс, Ф. Энгельс. Сочинения, т. XIV, стр. 478.

³ Ф. Энгельс, «Развитие социализма от утопии к науке», предисловие к англ. изд.

выступил наружу его революционный характер. Французские материалисты не ограничились своей критикой только областью религии; они критиковали каждую научную традицию, каждое политическое учреждение своего времени¹. Иначе говоря, они сделали материалистическое учение орудием борьбы против идеализма и влияния церкви в науке и орудием борьбы за политическую власть. Таким образом это „рожденное на свет английскими роялистами учение доставило французским республиканцам и террористам теоретическое знамя и дало текст для «Декларации прав человека» (Энгельс), оно стало „символом веры французской революции“.

Этот переход передовой буржуазии того времени под знамя материализма определил материалистическое развитие естествознания в период от середины XVIII в. до середины XIX в.²

Но в этот период буржуазии удалось также вырвать из рук феодалов и политическую власть, при этом без всяких уступок и компромисса со своей стороны. Этим самым был обеспечен бурный расцвет естествознания, в котором буржуазия была непосредственно заинтересована, расцвет, которого естествознание еще не видело до тех пор. Теперь оно получило не только повелевающего заказчика, но и заказчика, свободного от всякой религиозной мистики, материалистически настроенного, а потому и не ставящего никаких преград для развития.

В то время как революция во Франции привела буржуазию к победе в политике, говорит Энгельс, в это время в Англии Уатт, Аркрайт, Картрайт и другие производили промышленную революцию. Изобретение ряда станков, в первую очередь в текстильной промышленности, поставило в порядок дня создание такого двигателя, который отличался бы большой мощностью, равномерной отдачей работы и безотказностью. Этот двигатель и был найден в виде паровой машины, усовершенствованной Уаттом. С изобретением парового двигателя менялся характер источника работы. Если до тех пор источником ее являлась механическая же работа и, следовательно, процесс получения работы заключался в ее передаче, то теперь источником работы являлась теплота, а получение работы заключалось в превращении форм движения, условие которого и надлежало теперь исследовать. Наряду с исследованием условий превращения теплоты в механическую форму, вставала проблема отыскания и других источников работы, в виде известных до тех пор физических явлений: к этому, собственно, сводились исследования электрических процессов в 20—30-х годах XIX в.

Таким образом промышленный переворот привел в этот период к постановке новых проблем — к отысканию форм связей между отдельными видами движения, к отысканию условий превращения их друг в друга и, следовательно, к вскрытию внутренних закономерностей явлений. Этот процесс характерен не только для физики и химии, но и для органических наук.

¹ Там же.

² Речь идет об основной линии развития, что, конечно, не исключает наличия отдельных идеалистических течений.

Но этот процесс означал отход естествознания от метафизики, который обуславливался также и внутренней логикой его развития, ибо „эмпирическое естествознание накопило такую необъятную массу положительного материала, что необходимость систематизировать его в каждой отдельной области исследования и расположить с точки зрения внутренней связи стала неустранимой. Точно так же сгало неизбежным привести между собою в правильную связь отдельные области познания“¹.

Именно в этот период возникли величайшие по своему значению идеи о связях различных форм движения и о развитии природы. Кант, а затем Лаплас и Гершель создали теорию о происхождении и развитии солнечной системы, Лайель внес идею развития в геологию и палеонтологию; Вольф, а затем Окен, Ламарк и Бер защищали идею о развитии органического мира. Все это подготовило „три величайшие открытия“ XIX века — открытие органической клетки, закона превращения и сохранения энергии и теории развития видов Дарвина, — идеи диалектические по своему существу².

Однако этот отказ от метафизики совершается стихийными путями. Безграничное увлечение экспериментальным методом, — здоровое само по себе, когда оно было противопоставлено авторитету священного писания, — в данный период привело к пренебрежению теоретическим мышлением, что затормозило теоретическое осмысливание связей различных форм движения. Внешне это проявлялось в огульном отрицании всякой натурфилософии³. Что это не спасало эмпирическое естествознание от мистики, от доморощенной наихудшего вида эклектической философии, — это прекрасно показано Энгельсом в „Диалектике природы“. Натурфилософия имеет за собой ту историческую заслугу, что она часто еще задолго до экспериментального естествознания вскрывала необходимость связей и развития форм движения. Правда, она при этом создавала много надуманного и часто извращала все реальные отношения, которые нуждались поэтому в перевертывании с головы на ноги. „Но и в самом естествознании, как указывает Энгельс, мы достаточно часто встречаемся с теориями, в которых реальные отношения поставлены на голову, в которых отражение принимается за объективную реальность и которые нуждаются поэтому в подобном перевертывании. Такие теории довольно часто господствуют долгое время, добавляет Энгельс. Подобный случай представляет нам учение о теплоте, которая почти в течении двух столетий рассматривалась как особая таинственная материя...“⁴ Поэтому пренебрежение натурфилософией, сводившееся к пренебреже-

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс, Сочинения, т. XIV, стр. 337.

² У Даннемана эти открытия описываются в IV томе.

³ Энгельс указывает, что из-за этого пренебрежения к философии „сочинение Канта не имело непосредственного влияния“ на естествознание, вплоть до работ Лапласа и Гершеля, разработавших те же идеи на языке естествознания. (См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Сочинения, т. XIV, стр. 480.).

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс, Сочинения, т. XIV, стр. 342.

нию теоретическим мышлением вообще, совершенно не оправдано и часто вредило естествознанию.

Итак, рассматриваемый период развития естествознания характеризуется следующими моментами:

Передовая буржуазия (французская) стала на почву материализма, который становится господствующей идеологией в естествознании.

Политическая победа буржуазии способствует ускорению развития естествознания.

Промышленный переворот ставит перед ним новые проблемы и так же способствует его быстрому росту в XIX в.

Естествознание отходит от метафизики, оно постепенно проникается идеями связи и развития.

Отход от метафизики совершается стихийно, что затрудняет развитие естествознания.

* * *

Даннеман не дает анализа этих существенных моментов в развитии естествознания рассматриваемого периода.

Объясняется это тем, что для Даннемана характерно мировоззрение буржуазного позитивиста, которое не позволяет ему вскрыть основные движущие силы развития естествознания и его основные черты. Его мировоззрение не позволяет ему дать глубокий ответ даже тогда, когда вопрос поставлен правильно. Например, Даннеман правильно подмечает, что движущей силой развития естественных наук является практика, практическая потребность. Он пишет, что „создающие эпоху технические изобретения обыкновенно вызываются какой-нибудь повелительной потребностью. По этой именно причине практически пригодная паровая машина была изобретена в определенное время и в определенном месте“ (стр. 43).

Но самую практику Даннеман понимает узко, прагматически, отнюдь не в смысле общественно-исторической практики. Поэтому он и науку не понимает, как социальный фактор; поэтому он не прослеживает отдельные этапы развития естествознания, не вскрывает связи рассматриваемых им проблем с практической потребностью. Он даже не упоминает о новом этапе развития производительных сил, о промышленной революции, о возникновении машинной индустрии и о новых выдвинутых ею проблемах естествознания. Правильная мысль не приносит никаких плодов, хотя изложение фактов само наталкивает на ее развитие и углубление. Так, Даннеман подмечает, что отдельные наблюдения тех или иных процессов имели место задолго до того, как создалась их теория, до того как они стали достоянием всех. Но почему эти отдельные наблюдения не двинули вперед науку, почему они были забыты до другого времени? Почему, например, наблюдение Зульцером явления контактного электричества „осталось совершенно изолированным“ (стр. 172)? Почему „первые наблюдения насчет химического действия гальванического электричества не привлекли к себе вни-

мания и ими не занимались далее" (стр. 192)? Почему после работ Дезарга (XVII в.) „дальнейшее развитие проективная геометрия получила только с XIX в.“ (стр. 118)? На все эти и подобные вопросы Даннеман и не пытается ответить. Проследим отрицательное влияние позитивистской философии Даннемана еще на одном примере.

Даннеман систематически показывает в этом томе как нарастает в естествознании задача отыскания связей. Этот факт теперь уже настолько общепризнан, что его не мог обойти историк естествознания. Но Даннеман не обобщает до конца это движение и не показывает, что это движение есть по существу, хотя и не осознанный современниками, отход от метафизики. Он просто констатирует этот факт. Выше было указано, что этот отход совершался стихийно, и что естествоиспытатели, проникнувшись методом эмпиризма, пренебрежительно относились к теоретическому мышлению, в частности отвергали всякую натурфилософию. Это отношение к натурфилософии характерно не только для естествоиспытателей того времени, но и для историка Даннемана, жившего в начале XX века.

В своей „Истории естествознания“ Даннеман ратует за эмпиризм. Он всей душой ненавидит натурфилософию, которая, якобы, сыграла весьма отрицательную роль в развитии естествознания, особенно на его собственной родине. „Эта натурфилософия (господствовавшая в Германии в начале XIX в. — *Ред.*) принесла немецкому естествознанию больше вреда, чем французским ученым бури французской революции“, пишет он (стр. 194). Натурфилософия „подчинившая себе в первую четверть XIX в. немецкую мысль“, по отзыву Даннемана проникнута „пустыми, полными непонятной мистики фразами“ (стр. 296).

Исключение из этой оценки составляет натурфилософия Лейбница и Канта. Влияние первого он считает положительным из-за стремления Лейбница применить математику к естествознанию; что касается Канта, то Даннеман высоко расценивает его „смелую и удачную теоретическую попытку“ дедуктивным методом построить представление о процессе образования вселенной (стр. 222—223). Мы могли бы сказать больше: симпатии Даннемана к кантовской натурфилософии объясняются не только тем, что „дедукции его были подтверждены позднейшими наблюдениями“, но и тем, что позитивизм прекрасно уживается у Даннемана с кантовской теорией познания, как это видно, например, из утверждения, что теории суть не что иное, как символы (см. IV т.).

Что касается огульной отрицательной оценки роли натурфилософии, то она, конечно, совершенно неправильна. „Гораздо легче вместе с тупоумной посредственностью à la Карл Фогт бранить старую натурфилософию, чем оценить ее историческое значение, писал Энгельс в предисловии ко 2-му изданию Анти-Дюринга. В ней много нелепостей и сумасбродства, однако не больше, чем в современных нефилософских теориях эмпирических естествоиспытателей, а рядом с этим она содержит и много серьезного

и разумного, как это стали признавать со времени распространения теории развития" ¹. И среди натурфилософов, теории которых содержат „много серьезного и разумного“ Энгельс называет Тревирануса, Океана и Гегеля, немецких натурфилософов, работы которых относятся как раз к рассматриваемому периоду и которым Даннеман не считает возможным уделить внимания.

Мы и в этом случае видим, что оправдывается та оценка философских взглядов Даннемана, которая дана Лениным в связи с выходом другой его книги ²:

„Автор небрежно, важничая, фельетонно намечает философские вопросы, пошло. Книжечка ни то, ни се: для философской книги небрежно, фразисто, мелко, пошло; для популярной — претенциозно ³.

* * *

Однако основной порок работы Даннемана — это его политическая оценка французской буржуазной революции.

Чтобы понять всю противоречивость его установки, мы изложим концепцию Даннемана о ведущей роли различных стран в развитии естествознания.

Получив мощную опору в изобретении книгопечатания, в расцвете городов и превращении средневекового феодального строя в современное государство, естествознание достигло в XVII в. высокой ступени развития. Однако на континенте Европы его развитие сильно затруднялось религиозными войнами XVII в., когда обострился антагонизм между верой и знанием. Восторжествовавшая церковная реакция привела к росту авторитета государства и церкви, подавлявшего всякое научное исследование. „Даже великий Гюйгенс, бывший долгое время украшением Парижской академии, вынужден был отступить перед натиском его“ (стр. 15).

Несколько иначе дело обстояло в Англии, где уже в эту эпоху наука освободилась от церковной опеки. Именно поэтому „важнейшими центрами научного творчества в эту эпоху были Англия и Нидерланды“ (стр. 15).

Однако уже с середины XVIII в. положение меняется. В духовной и социальной жизни Европы „намечается перелом, являющийся началом новой стадии в общекультурной эволюции Европы“ (стр. 16). Этот перелом привел к тому, что центр научного развития переместился из Англии на материк, во Францию.

В чем же заключается этот перелом в духовной и социальной жизни Европы? Даннеман отвечает на этот вопрос следующим образом: „В политической жизни кульминационным пунктом этого процесса является французская революция, от которой датирует история новейшего времени“ (стр. 16). „Революционная эпоха, пишет он далее, подействовала благотворным образом не только на политический строй европейских государств, но и на область точного

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс, Сочинения, т. XIV, стр. 9.

² Речь идет о книге Даннемана „Как создавалась наша картина мира“.

³ В. Ленин. Философские тетради, изд. ЦК ВКП (б), 1934, стр. 428.

исследования“; в эту эпоху в столице Франции ряд великих ученых „развили ту кипучую деятельность, которая подготовила почву для новейшего естествознания“ (стр. 294).

Влияние французской революции на развитие науки было, весьма разносторонним, как в области применения новых методов в науке, так и в деле постановки научно-технического образования. Даннеман говорит, что идеи Монжа, в общественной жизни которого „с особенной отчетливостью нашли свое отражение духовная, политическая и общекультурная обстановка эпохи французской революции“, — идеи, провозглашенные Монжем при создании Политехнической школы „остались и в дальнейшем теми важнейшими принципами, на почве которых современная техника и могла только достигнуть отличающего ее совершенства“ (стр. 116).

Французская буржуазная революция разрушила идеологические пути, мешавшие „даже великому Гюйгенсу“ и развязала все стимулы, способствующие росту естествознания. Подлинное естествознание „на пороге XIX в. восторжествовало во Франции во многих областях науки, сметая последние остатки схоластики“ (стр. 316). Со времени французской революции центром научного развития становится Франция.

Совсем иное положение науки в этот период в Германии. Политическая обстановка в Германии, — более точный анализ ей Даннеман, впрочем, не дает, — далека от содействия развитию науки. „Если отдельные немецкие ученые и сделали некоторые великие открытия, жалуется Даннеман, то все же наука как целое не могла здесь конкурировать с духовным развитием политически окрепших стран“ (стр. 16). Отдельные ученые, в поисках благоприятных условий работы, вынуждены были уезжать за ее пределы. Так, Вольф, который „не был оценен по достоинству в Пруссии... последовал подобно Эйлеру пригласению Петербургской академии наук“ (стр. 104). Даннеман с душевной обидой отмечает, что немцы неоднократно открывали новые области знания, „но позорным фактом, объясняемым, впрочем, прежним политическим состоянием страны¹,... является то, что дальнейшее исследование открытых таким образом областей и практическое использование новых добытых познаний, а вследствие этого также и слава открытия доставалась иностранцам“ (стр. 194)².

Только к концу описываемого Даннеманом периода немцы кое-чему научились у Франции и стали догонять, а затем во второй половине XIX в. и перегнали ее.

Такова концепция о ведущей роли различных стран в развитии естествознания по Даннеману: сначала она принадлежит Англии, после французской буржуазной революции — Франции, а затем (как это будет Даннеманом изложено в IV томе) — Германии.

¹ Речь идет о юнкерской Германии начала XIX в. *Ред.*

² Помимо политических причин отставания немецкой науки, Даннеман отмечает еще и отрицательную роль господствовавшей в Германии натурфилософии, о чем сказано выше.

* * *

Даннеман отмечает, что французская революция выдвинула на политическую и общекультурную арену третье сословие, „которое впервые приобрело значение благодаря революции и которое в духовном отношении вскоре оказалось первым“ (стр. 115). Оно дало ряд крупнейших ученых, в том числе основоположника начертательной геометрии, одного из маститых деятелей французской буржуазной революции — Гаспара Монжа. Даннеман не дает ключа для разгадки вопроса, почему же третье сословие, т. е. буржуазия, стала во главе культурного развития. Он был недалек от истины, когда высказывал, в самых общих чертах, мысли, что практическая потребность движет науку. Ибо именно как раз буржуазия давала в ту эпоху социальный заказ естествознанию, особенно в годы наиболее активной борьбы за власть, т. е. в годы революции и ее обороны.

Но Даннеман не натывается на эту очевидную истину. Он видит основу положительного влияния революции прежде всего в том, что революция привела к подъему национальных сил государства. „Могучий расцвет и подъем всех национальных сил тогдашней Франции, пишет он про революционную эпоху, связаны были с расцветом экспериментальной науки и техники“ (стр. 153). Слабостью национального духа у немцев, длившейся вплоть до второй половины XIX в., Даннеман, как это можно догадаться (стр. 194), объясняет отсталость Германии в научной области. Мысль о национальной мощи, как двигателе прогресса, более по душе Даннеману, этому истому немецкому буржуа XX в.

Однако буржуазная революция не только укрепляет национальную мощь, но и вынуждена обороняться против своих классовых врагов, в том числе и против врагов в академической мантии. Вот этого Даннеман не выдерживает. Как историк естествознания он не мог не отметить положительного значения французской буржуазной революции для развития науки, как современный буржуа он боится ее „мятежного духа“ и упрекает революцию за ее террор. В своей ненависти к революционному террору он теряет остатки чувства объективности, столь необходимого историку. Мало того, он искажает и самые факты, определявшие отношение революции к отдельным ученым. Последнее особенно ярко выражено в сообщении о казни Лавуазье. Уже приводя биографические данные об этом ученом, Даннеман проявляет сугубую односторонность. „Лавуазье стал членом Академии наук, пишет он. Вскоре затем он получил место генерального откупщика“¹ (стр. 144). Даннеман даже не задумывается над этим неожиданным сочетанием: академик и вдруг вскоре — откупщик. Он видит оправдание Ла-

¹ Генеральный откупщик — лицо, которому правительство передавало свое право (сдавало в откуп) сбора налогов на монополизированные предметы широкого потребления (соль, табак и другие предметы). Откупщики бесконтрольно распоряжались своим правом, занимались ростовщичеством и всячески отягощали жизнь населения, чем и возбуждали его заслуженную ненависть.

вуазье в том, что „доходы с откупа он тратил на свои требовавшие крупных средств опыты“. Это оправдание стало традиционным в работах современных буржуазных историков. Замечая далее, что „впоследствии ему поручили заведывание селитренными и пороховыми заводами“, Даннеман даже не уточняет, когда, при каком правительстве он занимал этот важный пост и какой ориентации держался. Когда же он сообщает о казни Лавуазье, он стремится представить образ Лавуазье, как благородного ученого и рыцаря, в соответствии с клеветнической буржуазной легендой о том, что кто-то из судей Лавуазье якобы заявил, что „революция не нуждается в ученых“. А о том, что Лавуазье снискал себе заслуженную ненависть народа в качестве ростовщика и откупщика, о том, что имелись сведения о его помощи ненавистной эмиграции и деньгами, и даже взрывчатыми веществами, — об этом Даннеман не упоминает ни слова.

Что касается легендарной реплики судьи, — имя его даже не установлено, — то целый ряд историков (Ж. Гильом, Ф. Клейн, Доманже и др.) отрицает возможность такой реплики. Очевидно, она относится к числу тех клеветнических измышлений, которые сначала создаются в весьма практических целях, и в которые потом, в силу их широкого распространения, начинают верить сами их творцы.

Ближайшее рассмотрение всего хода революции показывает, какую большую ставку на помощь науке ставило якобинское правительство и какую огромную помощь оказали революции ученые. Так во время военной блокады революционная армия оказалась небооруженной, сталелитейная промышленность была на низком уровне и не справлялась со своей задачей, не оказалось даже достаточного количества пороха, ибо Франция зависела почти целиком от импорта селитры. В этот тяжелый момент Комитет общественного спасения обратился к ученым с призывом в кратчайший срок создать отечественную военную промышленность. Ряд известных ученых — Фуркруа, Монж, Бертолле, Карно и др. — немало поработали над задачей создания обороны революции и разрешили поставленную комитетом задачу. Открытие способа добычи селитры из почвы, ускорение процесса выплавки стали, усовершенствование способов ее обработки и множество других открытий было поставлено на службу революции.

Революция, нуждавшаяся при проведении всей этой работы в ученых нового типа, преобразовала самую систему научно-технического образования, создав две знаменитые школы — *École polytechnique* и *École normale*. Обе эти школы, и особенно первая из них, создали себе неувядаемую славу, воспитав в ближайшее десяти-двадцатилетие плеяду блестящих ученых, возглавлявших мировую науку. Среди ее активных деятелей имеются имена таких ученых, как Монж, Лаплас, Фурье, Лежандр, Понселе, Коши, Араго, Малюс, Френель, Гей-Люссак и др.

Многие ученые занимали крупнейшие общественно-политические должности в правительственных органах. Монж был членом

временного Исполнительного комитета, морским министром (до 1793 г.) и затем организатором оборонной промышленности; Фуркруа — членом Конвента и председателем якобинского клуба; Бертолле — членом комиссии по поднятию благосостояния страны путем содействия промышленности и сельскому хозяйству и вместе с Монжем работал по снабжению революционной армии; де-Морво — депутатом Законодательного собрания и членом Комитета общественного спасения; Менге являлся одним из талантливейших полководцев революционной армии; Карно — членом Комитета общественного спасения, а с 1793 г. возглавлял всю борьбу на внешних фронтах революции, и т. д. Этот список можно было бы продолжить, но и сказанного достаточно, чтобы понять, какую роль играли передовые ученые в самом процессе революции и как революция нуждалась в ученых и ценила их. Казнь Лавуазье, отъявленного врага революции, отнюдь не определяет, как видим, взаимоотношения революции и науки, даже в самый напряженный ее момент — эпоху террора.

Неверную перспективу дает Даннеман и при изложении биографии Монжа. Она даже у неискушенного читателя может вызвать недоумение. Мы видели уже, что Даннеман причисляет Монжа „к числу великих деятелей французской революции“. Читатель кое-что (правда, очень мало) узнает от него и об оборонной работе Монжа. Тем удивительнее заявление Даннемана, что „во время господства террора Монжу было предъявлено тяжелое обвинение. Спасаясь от него, он бежал за границу, но вскоре возвратился во Францию, где оказал решающее влияние на постановку технического образования при организации *École polytechnique*“ (стр. 116). Как будто новое гонение на ученого, несмотря на всю его заслугу, новое доказательство, что „революция не нуждается в ученых“?!

История, однако, не такова. Во время революции Монж принадлежал к радикальному крылу якобинцев. Даже когда из клуба якобинцев были изгнаны жирондисты и дантониисты, Монж оставался его членом. Во время якобинской диктатуры он занимал, как мы видели, ряд ответственных постов вплоть до осени 1794 г. Только после переворота 9 термидора, после закрытия в ноябре 1794 г. якобинского клуба, после подавления в апреле 1795 г. прерияльского восстания начались гонения на вождей якобинцев, и Монж вынужден был покинуть пределы Франции, пока сам он не перешел в лагерь термидорианцев. Таким образом Монж „пал жертвой“ вовсе не отрицательного отношения революции к науке, намек на что можно усмотреть у Даннемана (поскольку бросается в глаза некоторая параллель с Лавуазье); наоборот, он вращался в центре политической борьбы, и если, испытал некоторые гонения, то они исходили из лагеря политических противников — термидорианцев.

Что касается *École polytechnique*, то она была организована в эпоху якобинской диктатуры по декрету Конвента от 11 марта 1794 г. под названием „Центральной школы общественных работ“,

следовательно, еще до эмиграции Монжа. В 1795 г. она была переименована в *École polytechnique*.

Итак, даже буржуазный историк Даннеман не может не признать положительного влияния французской буржуазной революции на развитие науки, хотя он и не дает детального анализа того, в каких формах осуществлялось это влияние.

Однако, говоря о судьбах людей, о том, что некоторым ученым пришлось покинуть насиженные кабинеты, о казни Лавуазье, Даннеман вопит о терроре, о бурях революции, повторяя все те легенды, которые стали традиционными, и подчас искажая действительность в угоду своей установке.

*
*

Мы не исчерпали, разумеется, всех недостатков работы Даннемана. Можно было бы указать, например, на его шовинистическую попытку доказать немецкое происхождение той или иной научной теории: в одном случае он это делает, ссылаясь на то, что автор обсуждаемой теории родился в Германии, в другом — подчеркивает, что учителя автора рассматриваемой теории были немцы, и т. п.

Редакция все же считала возможным познакомить советского читателя с книгой Даннемана.

Было бы желательно, конечно, дать читателю историю естествознания, в которой был бы дан марксистский анализ его развития. Но такой истории пока еще не написано. Поэтому мы вынуждены довольствоваться позитивистской историей, в которой не дано органической связи развития естествознания с общественно-исторической практикой, с развитием производительных сил, в которой не показана борьба различных направлений в естествознании, и которая имеет много других недостатков. Книга Даннемана в этом смысле не является исключением.

Ряд наиболее неправильных общих его высказываний, не имеющих к тому же непосредственного отношения к истории естествознания, редакция исправила. Однако, она не считала необходимым производить значительную переработку книги, ибо такое „причисывание“ Даннемана могло бы создать у читателя ложное представление как об этом историке, так и об уровне буржуазной исторической науки.

Пользу же этот том „Истории естествознания“ Даннемана принесет, прежде всего, изложением богатого фактического материала по истории естествознания, единый обзор которого массовому советскому читателю нигде более недоступен. Она принесет пользу и своим анализом постепенного проникновения в естествознание экспериментального и математического метода, своим показом недостаточности только описательного метода, вскрытием связей между отдельными науками. Все эти моменты развития естествознания характерны для рассматриваемого периода и все они методично подчеркиваются автором.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Второй том предлагаемого сочинения был посвящен истории возникновения современного естествознания. Содержание его охватывало период от начала XVII до середины XVIII в., когда начинается новейшая фаза в развитии естественных наук. Цель третьего и четвертого томов—изобразить в основных чертах эту последнюю фазу, вплоть до выдвинутых современностью проблем. Так как мы не хотим ограничиться простым перечислением событий, а желаем показать их внутреннюю связь, то при взаимном переплетении различных областей знания невозможно строго хронологическое распределение материала. Но если уж проводить какую-нибудь грань, то она должна совпасть приблизительно с моментом открытия принципа сохранения энергии. Предлагаемый третий том посвящен в основном описанию великого переворота, охватившего тогда естествознание. Причинами этого переворота явились прежде всего создание основ современной химии и учения об электричестве, дальнейшее развитие прочих частей физики и перенесение экспериментальных методов исследования в область биологии. Задачей четвертого и последнего тома будет описание колоссального расцвета естествознания в течение XIX в. и в начале XX в.

И в предлагаемом томе, как и в предыдущих, автор стремился дать картину эволюции естествознания в рамках общеисторического развития, указать связь естественных наук с соседними областями знания, отмечая главным образом лишь то, что содействует углубленному пониманию современного состояния науки.

В новом издании третьего тома имеется ряд дополнений и исправлений. Кроме того, в нем, как и в остальных томах повторного издания, было обращено особенное внимание на более строгое распределение материала. Многими из этих улучшений я обязан тому обстоятельству, что уже в течение года состою научным сотрудником немецкого музея в Мюнхене, коллекции которого, являющиеся до известной степени предметной историей естество-

знания и техники, я старался использовать для предлагаемого сочинения. В четвертом томе это обнаружится еще ярче, чем в третьем.

При просмотре корректур мне снова оказали содействие гг. тайный гофрат проф. д-р. Э. Видеман (Wiedemann) из Эрлангена, проф. д-р Э. О. Липпман (Lippmann) из Галле на Зале и проф. д-р И. Вюршмидт (Würschmidt) из Эрлангена, которому посвящен предлагаемый том. Я им крайне обязан за многочисленные исправления и дополнения, внесенные в этот том. Я должен также упомянуть здесь с благодарностью о многих других указаниях, сделанных мне частью в устной беседе, частью в печатных отзывах. При просмотре математических отделов книги особенную помощь оказал мне известный историк математики, проф. д-р Вилейтнер (Wieleitner).

Фридрих Даннеманн.

Мюнхен, летом 1922 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .

5

I

НАУКА И ВСЕМИРНАЯ ИСТОРИЯ

(Стр. 13—16)

II

В XVII В. ЗАКЛАДЫВАЮТСЯ ОСНОВЫ УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

(Стр. 17—41)

Установление различия между двумя видами электричества 17. — Наблюдение над электропроводностью 19. — Лейденская банка 20. — Электрическая машина 21. — Вопрос о причине электрических явлений 24. — Исследование атмосферного электричества 26. — Изобретение громоотвода 27. — Химические и физиологические действия электричества 30. — Ряд электрических напряжений 33. — Исследование животного электричества 33. — Открытие пирозлектричества 35. — Открытие электрической индукции 36. — Способы измерения электрической силы 36.

III

ПРАКТИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УСПЕХИ В ОБЛАСТИ УЧЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ

(Стр. 42—64)

Паровая машина Папина 43. — Паровая машина Ньюкомена 45. — Паровая машина Уатта 46. — Начатки термометрии 47. — Развитие гигрометрии 53. — Взгляды на природу теплоты 55. — Горение как важнейший источник теплоты 59. — Переохлаждение и понижение точки замерзания 63.

IV

ОПИСАТЕЛЬНОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ ПРИ ГОСПОДСТВЕ ИСКУССТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

(Стр. 65—71)

Карл фон-Линней 65. — Переход от искусственной системы к естественной 70.

V

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОБЛАСТЬ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

(Стр. 72—81)

Вопрос о питании растений 72. — Физика и физиология 74. — Питание растений и химия газов 79.

VI

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОСНОВАННОЙ В XVII ВЕКЕ ПОЛОВОЙ ТЕОРИИ

(Стр. 82—96)

Экспериментальное обоснование половой теории 82. — Анатомические основы половой теории 84. — Опыты над гибридизацией растений 85. — Дальнейшее исследование о взаимоотношениях между цветами и насекомыми 90.

VII

УСПЕХИ ЗООЛОГИИ В XVII В.

(Стр. 97—111)

Опыты над низшими животными 97.— Открытия, сделанные на микроскопических животных 99.— Эволюция и эпигенезис 103.— Физиология и ее отношение к анатомии и медицине 107.

VIII

НОВЕЙШАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ОТНОШЕНИЕ К ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

(Стр. 112—128)

Математика и искусство 114.— Основание новейшей геометрии 119.— Успехи высшего анализа и алгебры 123.

IX

НАУЧНАЯ ХИМИЯ СО ВРЕМЕНИ ОСНОВАНИЯ ЕЕ БОЙЛЕМ ДО ЕЕ ОБНОВЛЕНИЯ ЛАВУАЗЬЕ

(Стр. 129—142)

Исследование газов 129.— Анализ атмосферного воздуха 133.— Попытка понять сущность химических процессов 138.— Начатки качественного и количественного анализа 140.

X

НАЧАЛО ЭПОХИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ХИМИИ

(Стр. 143—158)

Метод исследования Лавуазье 143.— Лавуазье исследует процесс горения 146.— Природа важнейших окисей 149.— Горение и дыхание 150.— Распространение учения Лавуазье 152.— Исследования, относящиеся к вопросу о химическом средстве 154.— Доказательство того, что хлор есть элемент 157.

XI

УСТАНОВЛЕНИЕ АТОМИСТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ЕЕ

(Стр. 159—170)

Закон постоянства весовых отношений 159.— Закон кратных отношений 161.— Установление атомистической гипотезы 162.— Дальнейшее развитие атомной теории 164.— Гипотеза Праута (Prout) и ее опровержение 166.

XII

ОТКРЫТИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

(Стр. 171—191)

Первое доказательство существования контактного электричества 171.— Вопрос о причине возникновения электричества 176.— Вольтов ряд электрических напряжений 178.— Основной опыт Вольты 180.— Вольтов столб 183.— Дальнейшее развитие гальванических элементов 186.— Открытие гальванической поляризации 189.

XIII

ОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИИ

(Стр. 192—201)

Электролиз воды 192.— Распространение электролиза на другие химические соединения 194.— Открытие калия и натрия 196.— Электричество и химическое средство 199.— Тепловое и световое действия гальванического электричества 200.

XIV

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

(Стр. 202—214)

Магнит под влиянием гальванического тока 202.— Силовые линии и магнитные поля 204.— Основание электродинамики 207.— Успехи в исследовании земного магнетизма 211.— Открытие Араго 213.

XV

ОТКРЫТИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВА

(Стр. 215—217)

XVI

РАСЦВЕТ АСТРОНОМИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАБОТ ЛАПЛАСА И ГЕРШЕЛЯ

(Стр. 218—236)

Дальнейшее развитие небесной механики 218.— Канто-лапласовская гипотеза 220.— Расширение наших знаний о вселенной 224.— Улучшение астрономических инструментов 225.— Новые взгляды на природу Солнца и движение его 227.— Гершель основывает астрономию мира неподвижных звезд 228.— Состав небесных светил и их возникновение 231.— Вращение земли и опыты над падением тел 235.

XVII

ОСНОВЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

(Стр. 237—244)

Новые представления о сущности теплоты 237.— Доказательства против материальной природы теплоты 238.— Открытие тепловых явлений, обнаруживаемых газами 242.

XVIII

УСПЕХИ ОПТИКИ И ПОБЕДА ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ

(Стр. 245—253)

Победа волновой теории света 245.— Дальнейшие исследования колебаний эфира 247.— Успехи теории теплоты 249.

XIX

ХИМИЯ И ФИЗИКА ВСТУПАЮТ В БОЛЕЕ ТЕСНОЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ СОБОЙ

(Стр. 254—265)

Исследование атмосферы 254.— Открытие закона Гей-Люссака 256.— Открытие закона объемов 257.— Дальнейшие исследования свойств газов и паров 259.— Успехи химии в начале XIX в. 260.— Реформа антифлогистонной теории 263.

XX

ДОСТИЖЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ МАТЕМАТИКИ К ЕСТЕСТВОЗНАНИЮ

(Стр. 266—286)

Открытие математических законов распространения теплоты 266.— Работы Гаусса и их значение для астрономии и физики 267.— Проблемы теории протяжения и теории потенциала 271.— Потенциальная функция и учение об электричестве 273.— Дальнейшее развитие теории потенциала 275.— Теория земного магнетизма 276.— Абсолютная система мер 278.— Математика и геодезия 281.— Труды Гаусса и оказанное ими влияние на развитие науки 284.

XXI

ОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕОПИСАНИЯ

(Стр. 287—303)

Основы научной метеорологии 287.— Личность Гумбольдта и его научные путешествия 289.— „Космос“ Гумбольдта 295.— „Идеи к географии растений“ Гумбольдта 297.— Успехи геологии под влиянием работ фон-Бука и Гумбольдта 301.

XXII

РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛОГИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Стр. 304—312)

Кристаллографические законы 304.— Форма и химический состав минералов 306.— Дальнейшее развитие минералогической физики и минералогической химии 309

XXIII

УСТАНОВЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В БОТАНИКЕ

(Стр. 313—319)

Основание естественной системы растений Гертнером и Жюсье 314.— Дальнейшая разработка естественной системы Декандаллем 316.— Учение о метаморфозе растений 318.

XXIV

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ НОВЕЙШИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Стр. 320—332)

Учение о геотропизме 320.— Рост и влажность 321.— Механизм движения выходящих растений 322.— Рост и свет 323.— Успехи химии и влияние на физиологию питания 323.— Основание физиологии растений как особой отрасли ботаники 329.

XXV

УСПЕХИ ЗООЛОГИИ И СЛИЯНИЕ ЕЕ СО СРАВНИТЕЛЬНОЙ АНАТОМИЕЙ

(Стр. 333—339)

Кювье закладывает новые основы палеонтологии 333.— Система Кювье 336.— Основы антропологии 338.

XXVI

ГЕОЛОГИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ ПРИ ГОСПОДСТВЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

(Стр. 340—343)

XXVII

УСПЕХИ В ОБЛАСТИ ЭМБРИОЛОГИИ

(Стр. 344—346)

Примечания редактора	. 347
Именной указатель	. 349
Предметный указатель	. 354

ТОМ ТРЕТИЙ

**РАСЦВЕТ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
ДО УСТАНОВЛЕНИЯ
ПРИНЦИПА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

НАУКА И ВСЕМИРНАЯ ИСТОРИЯ

В предыдущих томах наше изложение доведено было приблизительно до середины XVIII в. Прежде чем идти дальше, мы постараемся восстановить вкратце—в рамках общеисторической эволюции—картину развития естествознания до этого момента. Основы как науки, так и всей культуры античной древности были заимствованы с Востока. Там, еще задолго до начала греческой истории, была накоплена колоссальная масса фактов, относящихся к математике, астрономии, медицине и к трем царствам природы. Грекам суждено было объединить эти разрозненные знания в стройные научные системы и пробудить к жизни философию. Со времени расцвета греческой культуры философия и наука, как мы видели, не переставали преследовать одну и ту же задачу—именно, объяснение мира. Но несмотря на одинаковость цели, исходные пункты, а следовательно, и пути для достижения этой цели, были различны. В центре интересов философии стоял мыслящий субъект, в центре же интересов науки—сумма полученных от внешнего мира опытов. В древности спекулятивная и научная мысли развивались параллельно. Нередко, как мы видели, они совмещались в одной и той же личности. Это можно сказать о Платоне с неменьшим правом, чем об Аристотеле, творце величайшей философской и естественнонаучной системы, созданной древностью.

Одним из недостатков древности было то, что она недостаточно ценила значение точного наблюдения и планомерного эксперимента как основ познания. Это приводило часто к теориям, имевшим своим источником скорее фантазию, чем опыт. Примеры этого можно найти в особенности в системе Аристотеля. Но в древности было немало людей, которые подобно Архимеду строили свои теории в духе современного исследования на основе опытов и связи математики с естествознанием. Точно так же и александрийские ученые пришли к весьма ценным результатам в астрономии, географии и физике благодаря своим исследованиям, направленным не столько на общие проблемы знания, сколько на частные вопросы его. Значительную роль в познании природы сыграла в древности и техника. В этой области, как мы видели, особенно выдвинулись римляне, охотнее преследовавшие практические цели, чем научные.

Конец римского владычества кладет резкую грань не только во всемирной истории, но и в развитии естествознания. В рамках христианско-германской культуры для естественных наук на первых порах не нашлось подходящего им места. То, что творения древних сохранились до нового времени, является главной заслугой арабской культуры. Только начиная с XIII в., после того как произошло соприкосновение Запада с Востоком, наблюдается возрождение наук в Италии, а также Западной и Центральной Европе. Из изучения переработанного арабами главного астрономического сочинения древности и из их собственных исследований вырастает астрономия нового времени. Благодаря связи последней с морским делом становятся возможными предпринимаемые с целью географических открытий путешествия. Расширение географического кругозора, охватывающего теперь весь земной шар, и освобождение от форм средневекового мышления и эмоциональной жизни кладут грань, столь же важную, как тысячу лет назад гибель древнего мира. Человек подходит теперь к природе совсем иным, обновленным. Он сбросил с себя оковы авторитета и научился смотреть широко открытыми глазами на окружающий мир. Благодаря этому возникают первые начатки современного описательного и экспериментального естествознания. И для него, как и для астрономии¹, исходным пунктом устремлений нового времени являются проникшие после падения Константинополя в Западную Европу в большом количестве произведения древних². Другой опорой новой науки является изобретение книгопечатания, расцвет городской жизни и превращение средневекового феодального строя в современное государство.

Своего кульминационного пункта движение это достигает в XVII в. Богатые итальянские города и крупные европейские государства, особенно Франция и Англия, начинают видеть одну из своих основных задач в содействии успехам наук. Университеты становятся центрами свободного исследования. Возникают научные академии. Но тем не менее победа нового мировоззрения далась нелегко, как это мы видели на примере Галилея. Пользуясь благосклонностью дома Медичи и венецианского сената, Галилей сумел низвергнуть аристотелевскую физику и построить на ее развалинах новую механику. Многочисленные ученики продолжали в Италии начатое им дело. Они основали общество—так называемую Академию опытов, которая, однако, вскоре была закрыта вследствие восторжествовавшей в Италии церковной реакции. В XVII в., в эпоху великих религиозных войн, с особой силой проявился во всех странах антагонизм между знанием и верой. Протестантские государства Европы не составляли в этом отношении никакого исключения. Этот антагонизм оказался роковым не только для Джордано Бруно и Галилея—он отравил также и существование Кеплера.

¹ Здесь следует указать также на оптику, особенно на работы Альгазена Ибн-аль Гайтама (Ibn-al Haitam). (Примечание Э. Видемана.)

² Для естественных наук и медицины произведения эти имелись к тому же в арабских переводах. (Видеман.)

Всякое выявление себя и всякая потребность многочисленных отдельных личностей находят себе поддержку в государстве, являющемся ведь не чем иным, как объединением отдельных индивидов. К самым общим формам выявления личности относятся знание и вера. Для продуктов их—для науки и религии—государство уже с древних времен создало свои особые институты в виде школы и церкви. Главным средством, при помощи которого школа и церковь действовали до XVII в., было устное и письменное обучение. Этим объясняется преобладание авторитета в течение всего рассматриваемого периода и отсутствие внутреннего органического роста. Такой рост мог быть лишь плодом освобожденного от оков авторитета исследования. Последнее выступило впервые в области науки, обращенной к изучению реального мира. Здесь обнаружилось, что только новый, опирающийся на опыты и наблюдения метод дает надежные критерии для отличия верного от неверного, истины от заблуждения. Этим объясняется та не знающая удержу сила, с которой наука нового времени преодолела все препятствия, добившись вскоре величайших успехов, между тем как обращенная к потустороннему миру и лишенная аналогичных методов религия с созданной ею организацией—церковью—продолжала цепко придерживаться авторитета и даже тем более выдвигала авторитет, чем более наука старалась освободиться от него.

Развитию естествознания благоприятствовало еще и то обстоятельство, что из него сумели извлечь непосредственную выгоду. Так, например, медицина была весьма заинтересована в успехах ботаники и зоологии. Результаты исследований в области физики, химии и минералогии оказались полезными для многих ремесел. Астрономы оказали огромные, очевидные для всякого услуги делу картографии, определения времени, а в новое время особенно морскому делу. Изобретение многочисленных инструментов и рост приложений математики сильно содействовали со времени возрождения естествознания практическим результатам всех этих отраслей знания. Телескоп и микроскоп, термометр, воздушный насос, барометр и многие другие одинаково важные как для теоретических исследований, так и для практической жизни инструменты обеспечили возможность создания мировоззрения, радикально отличающегося почти во всех своих частях от средневековой картины мира. Ньютоно-гюйгеновская эпоха привела к величайшим достижениям в области создания новой математики и устанавления связи ее с естествознанием. Самым ценным результатом ее был всемирный закон Ньютона, связавший механику с астрономией. Важнейшими центрами научного творчества в эту эпоху были Англия и Нидерланды. Здесь индивид впервые стал наслаждаться той свободой от государственной и церковной опеки, которую можно считать жизненной стихией науки. Наоборот, во Франции авторитет государства и церкви был тогда еще настолько велик, что даже великий Гюйгенс, бывший долгое время украшением Парижской академии, вынужден был отступить перед натиском его. Германия все еще страдала от последствий Тридцатилетней войны. И если отдельные немец-

кие ученые и сделали некоторые великие открытия, то все же наука как целое не могла здесь конкурировать с духовным развитием политически окрепших стран.

С середины XVIII в. во всех областях духовной и социальной жизни намечается перелом, являющийся началом новой стадии в общекультурной эволюции Европы. В политической жизни кульминационным пунктом этого процесса является французская революция, от которой датирует история новейшего времени. Что касается истории наук, то хотя и в ней параллельно с социально-политической эволюцией происходит перемена, но все же она лишена той внешней эффектности, какая свойственна перипетиям политической жизни.

Естественные науки достигли тогда той ступени развития, когда для дальнейшего роста их стало необходимо сотрудничество многочисленных работников, между тем как в предыдущие периоды преобладающее влияние на ход науки имел еще отдельный исследователь. Поэтому та новая стадия в развитии наук, которой посвящено наше дальнейшее изложение, не отмечена каким-либо исключительно важным открытием или появлением какого-нибудь исключительно выдающегося исследователя. В то время как для химии начинается новая эпоха, развитие астрономии и механики совершается по проторенным путям. Принципы механики начинают все больше и больше применяться к прочим отделам физики, обретшей вместе с открытием гальванизма новую важную область исследования. Перемены происходят также в зоологии и в ботанике. Исключительное господство систематики сменяется направлением, в котором на первый план выдвигаются морфологические, а вскоре затем и физиологические вопросы. Примерно в середине XIX в. устанавливается принцип сохранения энергии, приведший к грандиозному обобщению и объединению всех прежних результатов научного исследования. Рассмотрение следующей затем и последней стадии развития подводит нас вплотную к проблемам современности, раскрывая перед нами заманчивые перспективы будущего.



II

В XVIII ВЕКЕ ЗАКЛАДЫВАЮТСЯ ОСНОВЫ УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

В то время как в XVII в. успехи физики имели место главным образом в механике и оптике, этих древнейших отраслях естествознания, XVIII в. отмечен в особенности дальнейшими завоеваниями в открытой Гильбертом и Герике области — электричестве от трения. Гильберт впервые отчетливо указал на разницу между магнитным и электрическим притяжением¹, между тем как Герике открыл электрическое отталкивание и изобрел первую машину для получения электричества. К сожалению, прибором Герике на первых порах не пользовались. Для получения электричества довольствовались тем, что натирали рукой стекло, янтарь и другие подходящие вещества. Тем не менее удавалось получать электрические разряды такой силы, что не только был слышен треск, но заметно было и появление искр. Один наблюдатель замечает даже, что этот треск и свет представляют до некоторой степени гром и молнию².

УСТАНОВЛЕНИЕ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ДВУМЯ ВИДАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Внимание исследователей было привлечено к изучению электрических явлений в особенности благодаря одному любопытному наблюдению, сделанному на ртутном барометре. В 1675 г. Пикар (Picard) открыл, что если в полном мраке встряхивать ртутный столб барометра, то в торичеллиевой пустоте появляется особенное фосфоресцирующее сияние. Это своеобразное явление вызвало огромный интерес к себе и породило обширную литературу. Правильное объяснение его дал Френсис Гауксби (Hauksbee), член Королевского общества. Гауксби, опубликовавший результаты своих опытов по этому вопросу в 1705 г. в „Philos. Transactions“³, исходил

¹ См. D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4-е изд., отдел 15.

² Англичанин Уолл (Wall) в „Philos. Transact.“ от 1698 г. Ударяет большой кусок янтаря шерстью и „получил искру почти в дюйм длиною. При этом раздавался такой звук, точно в нечке треснул кусок угля“.

³ Результаты его исследований собраны в сочинении „Physico-mechanical experiments“, London 1709.

из предположения, что электричество здесь возникает от трения ртути о стекло. Чтобы доказать правильность своей гипотезы, он насадил полый стеклянный шар на ось и привел его в быстрое вращение. Если одновременно с этим он подносил к шару свою сухую и теплую руку, то она наэлектризовывалась с такой силой, что можно было получить искры длиной в дюйм. Если же из шара заранее выкачивали воздух, то в нем появлялось то самое сияние, которое наблюдалось при встряхивании ртутного барометра. Таким образом Гауксби можно считать изобретателем электрической машины с трением, получившей, правда, распространение лишь значительно позже. Хотя Гауксби наэлектризовывал также шар из серы и сургучные палочки, ему, однако, не удалось установить различия между положительным и отрицательным электричеством.

Прогресс в области электричества от трения должен был происходить очень медленно, пока имели дело только с случайными, не связанными никакой теорией, наблюдениями. Ни одна из главных отраслей физики не задержалась так поздно на этой первой ступени точного знания, как именно учение об электричестве. Лишь в XVII в. начинается для него вторая ступень в развитии науки, ступень, характеризующаяся тем, что исследователи переходят к планомерному, опирающемуся на известные гипотезы экспериментированию. Даже такой исследователь, как Дюфай (Du Fay), работавший в начале XVIII в., находится еще на вышеуказанной первой ступени, зато Эпинус (Aepinus) и Франклин (Franklin), опиравшиеся на его исследования, относятся ко второму периоду. Лишь в эпоху, начинающуюся к концу XVIII в., удалось установить при помощи наблюдений с измерительными приборами законы электричества от трения¹. К этому присоединился еще дедуктивный, пользующийся вспомогательными средствами математики и механики метод, благодаря чему и в этой области, наконец, была достигнута та ступень развития, которая по выражению Галилея² одна лишь дает возможность достойным образом разрабатывать науку.

Вышеупомянутому Дюфаю учение об электричестве обязано многочисленными основоположными опытами. Шарль-Франсуа Дюфай родился в 1693 г. в Париже и умер там же в 1739 г. Дюфай производил опыты по магнетизму и электричеству, результаты которых были опубликованы в Мемуарах Парижской академии наук³. Важнейшие итоги его исследований можно резюмировать в следующих положениях: 1) электрическое тело притягивает все неэлектрические тела и сообщает им электричество, после чего оно отталкивает их; 2) существуют два противоположных вида электричества: стеклянное и смоляное.

¹ Vier Abhandlungen über die Elektrizität und den Magnetismus von Cou.omb (1785—1786) (Ostwalds Klassiker № 13), Lpz., Wilhelm Engelmann, 1890.

² Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen (Ostwalds Klassiker № 24, стр. 80).

³ Six Mémoires sur l'électricité появлялись в „Мемуарах Парижской академии наук“ от 1733—1734 гг.

Существование двух видов электричества было установлено Дюфаем при помощи его электроскопа с золотыми листочками. Дюфай исходил из предположения, что наэлектризованный стеклянной палочкой листочек отталкивается всяким телом, приведенным посредством трения в электрическое состояние. Однако это предположение не подтвердилось опытом. Действительно, когда Дюфай стал приближать к листочку натертые смолистые тела, то листочек был притянут ими. Основываясь на этом, Дюфай провел различие между двумя видами электричества, которые он назвал стеклянным и смоляным электричествами. Однако впоследствии убедились, что эти названия ошибочны, так как иногда смолистые тела могут быть заряжены стеклянным электричеством, а стеклянные тела — смоляным¹. Поэтому вместо смоляного и стеклянного электричества стали говорить о положительном и отрицательном электричестве.

Тот же Дюфай первый обратил внимание на связь между электропроводностью тел и их способностью наэлектризовываться. Исследователи стали с тех пор широко пользоваться непроводниками в качестве изоляторов. Так, названному ученому удалось наэлектризовать человека, подвешенного на волосяных шнурах или на шелковых веревках, и извлекать из него искры.

НАБЛЮДЕНИЯ НАД ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ

Первые наблюдения над проводимостью электричества принадлежат Герике. Более обширные опыты над электропроводностью произвел современник Дюфая, англичанин Стефан Грей (Grey). Заткнув стеклянную трубку пробковой втулкой, он стал исследовать, можно ли ее и в данном случае наэлектризовать при помощи трения. Грей (умерший в 1736 г. в Лондоне) не заметил никакой разницы в поведении трубки, но нашел, что втулка тоже наэлектризовалась, так как она действовала на перо подобно стеклянной трубке. Тогда он воткнул в пробку деревянную палочку, на другом конце которой находился шарик из слоновой кости. Когда теперь натерли стеклянную трубку, то шарик тоже наэлектризовывался. Таким образом изменение состояния распространилось от стекла через пробку и дерево на шарик.

Чтобы решить вопрос, на какое расстояние передается электричество, Грей заменил деревянную палочку натянутым шнурком, подвешенным на шелковых петлях. Ему удалось показать действие электричества на расстоянии в 700 фут. Если шнурок висел не на шелковинках, а на проволоке, то опыт не удавался. Таким образом и этот опыт указывал на различие между проводниками и непроводниками. Непроводниками оказались волосы, шелк, стекло и смола, которыми и стали пользоваться для дальнейших опытов.

¹ См. также рассуждения Эпинуса в Dannemann, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4-е изд., отдел 37.

Большой интерес вызвало также открытие, что электрическая сила действует сквозь стеклянные сосуды. Был произведен следующий опыт: птичье перо укрепляли на деревянной подставке, накрыв его потом стеклянным колоколом. Если затем к колоколу приближали наэлектризованное тело, то волоски пера приходили в движение. Грей наэлектризовывал также людей, стоявших на пластине из смолы. Таким образом он является по существу изобретателем изолирующей скамейки. Он, далее, произвел следующий опыт. Сосуд с водой ставился на изолирующую пластину. Если затем к сосуду приближали наэлектризованную стеклянную палочку, то жидкость начинала подниматься над своим обычным уровнем.

ЛЕЙДЕНСКАЯ БАНКА

Только что описанный опыт привел к любопытному открытию. Два лейденских физика¹ пытались наэлектризовать находившуюся в изолированном стеклянном сосуде воду, соединив ее посредством проволоки с натертой стеклянной трубкой. Когда при этом один из них, державший случайно сосуд в руке, коснулся в то же время трубки, то он почувствовал сильный удар, отдавшийся в особенности в руке и в груди. В сообщении об этом от 1746 г. можно прочесть, что в Лейдене был произведен страшный опыт, авторы которого не согласились бы повторить его даже за французскую корону.

Однако первенство открытия лейденской банки принадлежит не названным физикам, а уроженцу Померании, фон-Клейсту (Kleist)², произведшему в 1745 г. следующий опыт. В склянку из-под лекарств, которую он держал в руке, он поместил железный гвоздь, наэлектризовав последний. Когда вслед затем он коснулся гвоздя другой рукой, то почувствовал сильный удар, который еще усиливался, если на дне склянки находилось небольшое количество ртути.

Эти открытия наделали много шума и привели к тому, что электрическими опытами стало заниматься множество любителей. Во Франции лейденская банка была разряжена в присутствии короля через цепь из более чем ста человек. Вода и рука, игравшие в первоначальном опыте роль внутренней и внешней обкладки, были вскоре затем заменены оловом. Далее заметили, что лейденская банка сохраняет долго электричество и что ее нельзя зарядить, если она изолирована. Только Франклин (Franklin) дал объяснение этого факта. Он показал, что обе обкладки заряжены противоположными электричествами и что разряд банки заключается в соединении этих противоположных электричеств.

В первом из своих знаменитых писем об электрических явлениях Франклин описывает действие лейденской банки следующим

¹ Мусхенбрэк (Muschenbreck) и Кунеус (Cunaeus).

² Клейст сообщил в своем открытии 4 ноября 1745 г. анатому Либеркюну (Lieberkühn). Лейденские же опыты происходили лишь в январе 1746 г. Надо думать, что лейденские физики не знали об открытии Клейста. (Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Wissenschaften, т. 4 № 1, стр. 95).

образом: „Если наэлектризовать положительно головку лейденской банки, то дно ее наэлектризовывается в той же степени отрицательным образом. Это значит, что сколько электричества вводится через головку, столько же выходит его через дно ее“¹.

„Равновесие можно восстановить лишь тем, что соединяют головку и дно банки (внешнюю и внутреннюю обкладки) при помощи неэлектрического тела (т. е. проводника). В этом случае равновесие устанавливается сразу и исключительно бурно“.

„Чтобы вызвать сотрясение у человека, нет необходимости соединять его с полом комнаты. Человек, держащий банку в одной руке и касающийся головки банки другой рукой, испытывает такое же сильное сотрясение, если он стоит на изолирующей пластине из смолы“.

„Если поставить наэлектризованную банку на смолу и приблизить затем к головке ее пробковый шарик, подвешенный на шелковой нити, то сперва он притягивается, а затем отталкивается. Если вслед затем приблизить шарик ко дну банки (к внешней обкладке), то он притягивается с большой силой“.

Таким путем Франклин доказал, что внешняя и внутренняя обкладки наэлектризованы противоположным образом. При своих опытах Франклин пользовался также доской, обложенной с обеих сторон оловом. По его имени она и поныне называется еще франклиновой доской.

Данцигский бургомистр Гралат (Gralatt)² первый соединил несколько лейденских банок в электрическую батарею. Он взял несколько стеклянных бутылей, наполнил их до половины водой и в каждую бутылку вставил снабженную шариком проволоку, торчащую наружу. Затем все эти шарики были одновременно соединены с кондуктором электрической машины. От этого прибора Гралат получил очень сильный удар. Еще в том же 1746 г. удалось усилить действие батареи до такой степени, что можно было при дневном свете видеть искры на расстоянии в 200 шагов, а слышать звуки от разрядов еще на большем расстоянии.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА

Большое значение для дальнейшего развития учения об электричестве от трения имело то, что по примеру Герике и Гауксби стали пользоваться электрическими машинами³.

¹ По Франклину тела бывают наэлектризованы положительно или отрицательно в зависимости от того, содержат ли они большее или меньшее количество некоторой гипотетической электрической жидкости. Они остаются в нейтральном состоянии, если эта жидкость вне тела и внутри него находится в равновесии (унитарная гипотеза).

² *Versuche und Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Leipzig*, т. I, стр. 442. Довольно большая старая электрическая машина с батареей из 25 банок находится в Немецком музее в Мюнхене (зал 24). Там же находятся также многочисленные старые банки, и между ними одна, принадлежавшая фон-Клейсту.

³ F. Rosenberger, Die erste Entwicklung der Elektrisiermaschine mit 8 Abb. in den Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik.

В машине Гауксби, в отличие от машины Герике, на место массивного шара из серы имелся стеклянный шар, приводившийся в быстрое вращательное движение при помощи большого колеса и шнура¹.

Более широкое распространение электрическая машина получила лишь после 1740 г. В 1743 г. лейпцигскому профессору физики Гаузену (Hausen) один из его слушателей предложил облегчить труд натирания стеклянной трубки рукой, заменив трубку вращающимся шаром. Это предложение оказалось чрезвычайно практичным, особенно после того, как один лейпцигский мастер

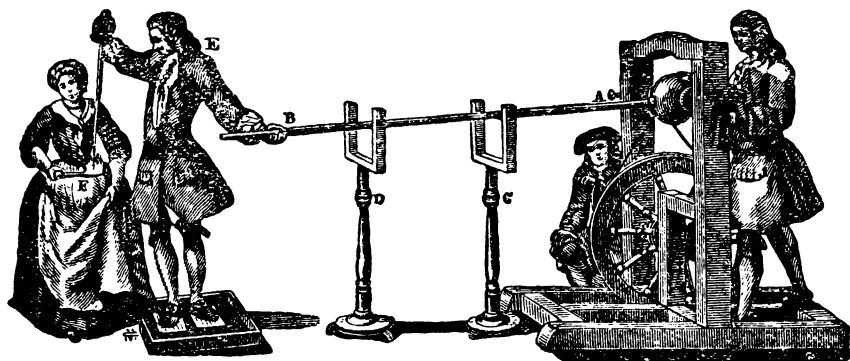


Рис. 1. Электрическая машина 1744 г. Взято из Gerland u. Traumüller, Geschichte der Physik. Experimentierkunst.

Для натирания пользуются еще рукой. Кондуктором служит лежащая напротив руки на шелковых шнурках металлическая трубка АВ, конец которой снабжен вместо всасывающего гребня пучком виток. Человек Е стоит на ящике, наполненном изолирующим веществом (смолой). Из острия шпаги выскакивает искра, зажигающая находящийся в ложке спирт.

снабдил новый прибор первым приспособлением для натирания, состоявшим из шерстяной подушки. Вскоре затем (1744 г.) немецкий физик Бозе (Bose) ввел, кроме того, в качестве кондуктора изолированное металлическое тело. Уже через несколько лет после того, как Гаузен построил свою машину, этот кондуктор был снабжен² всасывающим электричество гребнем, так что еще до истечения первой половины XVIII в., электрическая машина приняла в руках физиков тот вид, в каком ею пользуются еще и теперь. Впоследствии, в XVIII же в., стеклянный шар заменили более удобным стеклянным диском³, а натирающую подушку по совету Кинмайера (Kienmaier) покрыли амальгамой.

¹ Hawksbee, Physico-Mechanical Experiments, London 1709. Табл. VII. Аппарат Гауксби имеется еще в настоящее время в коллекции Базельского университета.

² Вильсоном (Wilson) около 1750 г.

³ 1755 г.

Электрическая машина вошла, так сказать, в моду. Благодаря интересу, вызванному ею у богатых любителей, она под конец приняла огромные размеры¹. В дальнейшем были открыты быстро одно за другим важнейшие явления в области электричества от трения. Было установлено, что искра может зажигать порох, эфир и другие горючие вещества. Данцигский бургомистр Гралат² зажег с помощью электрической искры потухшую свечу. При помощи электрической искры удалось даже зажечь спирт (рис. 1).

Далее исследователи пытались определить скорость распространения электричества, разрядив лейденскую банку через про-

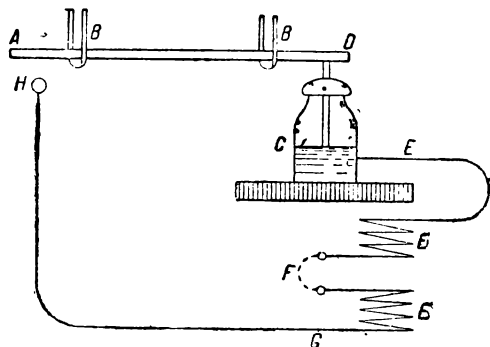


Рис. 2. Опыт Уотсона для определения скорости распространения электричества в проволоке.

Внутренняя обкладка лейденской банки *C* соединена с проводящим стержнем *AD*, подвешенным на изолирующем веществе. От внешней обкладки идет проволока к шару *H*. В точке *F* включен в цепь человек. Хотя длина проволоки между *F* и *H* равнялась около 12000 фут., находящийся в *F* наблюдатель все-таки не мог установить никакой разницы во времени между моментом, когда он испытывал сотрясение, и перескакиванием искры в *H*.

Но в основу принятых для этого впоследствии опытов была положена та же самая идея, из которой исходил в своих опытах Уотсон (рис. 2), с той только разницей, что непосредственное наблюдение было заменено быстро вращающимся зеркалом.

Дальше было предпринято исследование электрической искры в безвоздушном пространстве³.

Первые опыты этого рода были произведены механиком Груммертом (Grummert, 1719—1776) в Дрездене. Оказалось, что в безвоздушном пространстве электричество проникает на значительное расстояние. По описанию Уотсона, наблюдения которого относятся к более позднему времени, электрическое сияние заполняло всю трубку, так что, пока машина находилась в движении, можно было наблюдать непрерывное сияние. Дальнейшее развитие этого

¹ Marum, Description d'une très grande machine électrique et des expériences faites par le moyen de cette machine, 1785.

² Гралат написал также историю электричества.

³ Уотсон в „Philos. Transactions“, 1748, т. 45, № 485, стр. 92.

опыта привело к открытию гейслеровых трубок и, наконец, в новейшее время к открытию особых видов лучей. Электрическое свечение в безвоздушных трубках было использовано некоторыми учеными также и для объяснения северного сияния¹.

ВОПРОС О ПРИЧИНЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

В связи с этими новыми, совершенно необычными явлениями уже у физиков XVIII в. возник вопрос о причине их. Если электричество является каким-то веществом, то можно было ожидать, что наэлектризованные тела увеличиваются в весе. Но все предпринятые в этом направлении опыты не увенчались успехом². К подобному же отрицательному результату пришли и в области учения о теплоте, взвешивая тела в нагретом состоянии и сравнивая их с телами, взятыми при обычной температуре.

Вместо того чтобы сделать из этих опытов тот вывод, что электричество и теплота являются просто особыми состояниями вещества, исследователи перенесли понятие о не имеющих веса веществах или о так называемых невесомых (*imponderabilia*), при помощи которых уже пытались объяснить оптические явления, на электрические, родственные им магнитные и на тепловые процессы. Учение о невесомых жидкостях господствовало в физике вплоть до XIX в. В области тепловых явлений первый тяжелый удар нанесли ему Румфорд (Rumford) и Дэви (Davy). Окончательно же изгнать его из всех областей физики науке удалось лишь в новейшее время.

Хотя учение о невесомых жидкостях не в состоянии было удовлетворить свойственную новому времени более уточненную потребность в причинном объяснении, но на той ступени развития науки, на которой она находилась в XVIII в., оно одно только давало возможность кое-как объяснить изучаемые явления. Раз световые явления рассматривали как перемещение особого вещества, то приходилось допустить аналогичные другие вещества в качестве носителей тепловых электрических и магнитных процессов. Более простой вид теория электричества принимала у тех физиков, которые сводили оптические явления к волновому движению. Так например, Эйлер (Euler) нисколько не сомневался в том, что источником всех электрических процессов является тот самый эфир, в котором, по его мнению и по мнению Гюйгенса, распространяется свет. Электричество, утверждал Эйлер, представляет просто нарушение равновесия этого эфира, который вдавливается в тела или выдавливается из них, в зависимости от того, какого рода электрическое состояние в них обнаруживается³.

Из аналогичных представлений исходил в своих исследованиях и Франклин. Согласно Франклину, тела бывают наэлектризованы

¹ Von Marum, Über das Elektrisieren, 1777.

² I. C. Fischer, Geschichte der Physik.

³ Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin, Lpz., 1773, т. 2, стр. 245 и сл.

положительным или отрицательным образом в зависимости от того, имеется ли в них избыток или недостаток гипотетической электрической жидкости, и пребывают в нейтральном состоянии, если эта жидкость вне тел и внутри них находится в равновесии.

По Франклину электрическая жидкость пронизывает все тела, являясь причиной всех электрических явлений. Частицы этой жидкости взаимно отталкиваются, но притягиваются с большой силой частицами весомых тел. Если какое-нибудь тело содержит столько жидкости, сколько оно может вместить, причем на поверхности его не остается совершенно этой жидкости, то это по Франклину и есть обычное состояние тела, являющегося тогда для нас не электрическим.

Другие исследователи, как, например, Зиммер (Symmer), предпочитали исходить для объяснения различных видов электричества из гипотезы двух жидкостей. Как ни бессодержателен сам по себе был возникший благодаря этому спор сторонников унитарной и дуалистической гипотез, он все же значительно содействовал экспериментальному исследованию рассматриваемых явлений. Интерес к этим вопросам был столь всеобщим, что кроме профессиональных физиков ими стали заниматься и многочисленные неспециалисты. Самым крупным из них был только что названный Франклин.

Вениамин Франклин родился 17 января 1706 г. в Governors Island около Бостона. Его отец покинул Англию, в которой не мог жить свободно согласно своим религиозным убеждениям. Так как его заработка от мыловарения лишь с трудом хватало на пропитание многочисленной семьи, то молодой Франклин еще в детстве был взят из школы и отдан в обучение своему старшему брату типографу. Некоторое время Франклин работал в Англии в качестве наборщика. Впоследствии он стал издателем газеты в Филадельфии и владельцем типографии.

На занятия вопросами электричества натолкнуло Франклина то обстоятельство, что один лондонский купец по имени Коллинсон (Collinson) подарил филадельфийскому библиотечному обществу несколько предназначавшихся для электрических опытов приборов. Год спустя Франклин мог писать Коллинсону¹: „Никогда еще никакие вопросы не отнимали у меня столько времени и сил, как проблема электричества. Лишь только я остаюсь один, я принимаюсь за опыты и повторяю их в присутствии своих друзей, приходящих толпами, чтобы видеть их. У меня не остается почти времени ни для чего другого“.

Результаты, к которым пришел Франклин в 1747—1755 гг., изложены в многочисленных письмах, предназначавшихся большей частью для Коллинсона, который их сообщал Королевскому обществу. В 1756 г. Франклин стал членом Королевского общества.

Первые письма Франклина трактуют о зарядении лейденской банки и об унитарной теории, позднейшие касаются вопросов

¹ В первом из писем к Коллинсону от 28 III 1747 г.

атмосферного электричества, которое впервые стало предметом научного изучения благодаря работам Франклина. Франклин продолжал свою научную деятельность до 1774 г., когда он целиком отдался борьбе за освобождение северо-американских колоний от английского владычества. Франклин стал вскоре одним из вождей этого мощного политического движения.

Когда греческие философы, оставив мифологическое мировоззрение, обратились к каузальному объяснению природы, то причину грозы стали искать в сернистых горючих испарениях, которые собираются в тучах и в виде молнии разрывают последние. Даже в XVII в. никто еще не подозревал истинной природы этого явления. Согласно Декарту гроза происходит от того, что верхние слои облаков падают на ниженаходящиеся. Эйлер сообщает, что первых исследователей, высказывавшихся в пользу сходства между электрическими явлениями и молнией, считали фантазерами¹. Исследования Франклина установили с достоверностью правильность того, что еще в начале XVIII в. являлось только простой догадкой.

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Если оставить в стороне Уолла (Wall), сделавшего уже в 1705 г. случайное замечание, что электрический разряд можно сравнить с молнией и громом, то единственным предшественником Франклина с его теорией грозы является только немец Винклер (Winkler). В 1746 г. последний занимался решением следующего вопроса² — „не являются ли искра и удар усиленного электричества (в банках Клейста) своего рода молнией и громом“. Винклер пришел к тому выводу, что гроза и искусственно вызванный электрический разряд отличаются друг от друга только по степени, но не по существу. Источником грозового электричества он считал испарение воды и связанное с этим трение.

В пользу электрической природы грозы Франклин высказался впервые в письме от 7 ноября 1749 г. Он выдвинул следующие соображения и доводы, говорящие за тождество молнии с электрической искрой: 1) сходство в обоих случаях света и сопровождающего его треска, а также почти мгновенный характер обоих явлений; 2) искра, как и молния, способна зажигать тела; 3) обе могут убивать живые существа (путем разряда нескольких лейденских банок Франклин умертвил курицу); 4) обе производят механические разрушения и вызывают запах, похожий на запах сгоревшей серы³; 5) молния и электрическая искра следуют по одним и тем же проводникам и перескакивают преимущественно на острия; 6) обе

¹ Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin, т. 2, стр. 287.

² Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefässen Lpz., 1849, стр. 137 и сл.

³ Стремление найти причину этого электрического запаха привело впоследствии к открытию озона. См. D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4 e изд., отдел 72.

ВЕНЬЯМИН ФРАНКЛИН

1706—1790

в состоянии уничтожить магнетизм или даже превратить полюсы магнита в противоположные; 7) электрическая искра, как и молния, способна расплавлять металлы.

В связи с опытами, при помощи которых Франклин пытался доказать последний пункт этого перечня, у него возникли разногласия с его другом Киннерсли (Kinnersley). Последний тоже занимался электрическими опытами, которые он демонстрировал своим землякам в качестве кочующего экспериментатора. Чтобы расплавить при помощи электрической искры металлы, Франклин клал тонкие листочки из олова или золота между двумя стеклышками и разряжал через эти листочки большую лейденскую бажку¹. Листочки при этом расплывались на мельчайшие частицы. Франклин называл этот метод методом холодного плавления, так как при разряде здесь не наблюдалось возникновения теплоты. Холодное плавление имеет по Франклину своим источником не жар, но то обстоятельство, что электрическая жидкость проникает в промежутки между частицами и разрушает таким образом внутреннюю связь их. В противоположность этому Киннерсли разрядил через проволоку батарею из 35 банок и показал, что металлы можно раскалить и даже расплавить. „Ваш великолепный опыт, — писал ему в своем ответе Франклин, — доказывает бесспорным образом, что наше искусственное электричество производит теплоту и что, расплавляя металлы, оно действует не путем того, что я назвал холодным плавлением“².

Причиной электрических явлений согласно Франклину является крайне тонкая жидкость, пронизывающая все тела и равномерно распределенная в них. Если в результате какого-нибудь искусственного или естественного процесса эта жидкость оказывается в каком-нибудь теле в большем количестве, чем в другом, то тело, содержащее больше этой жидкости, сообщает ее тому, в котором ее меньше, пока не установится равномерное распределение ее. При этом предполагается, что расстояние между телами не слишком велико или что имеются налицо проводники, переносящие это вещество от одного тела к другому. Если передача эта происходит через воздух, без посредства какого-нибудь проводника, то можно видеть при этом яркое свечение между телами и слышать особый треск. В случае грандиозных, происходящих в природе разрядов этот свет мы называем молнией, а треск и эхо его — громом³.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ГРОМООТВОДА

Прямое доказательство существования атмосферного электричества Франклин дал при помощи своего знаменитого опыта со змеем. В июле 1752 г. Франклин во время грозы запустил на пеньковой веревке змей, снабженный железным острием. О полученных

¹ Франклин в своем пятом письме к Коллинсону.

² Письмо Франклина к Киннерсли от 27/II 1762 г.

³ Примерно в таких выражениях Франклин излагает в своих письмах эту теорию.

при этом опыте результатах Франклин сообщал в письме от 19 октября 1752 г. следующее:

„Из двух легких дощечек надо сделать крест, натянув между концами его тонкое шелковое полотно. Если к изготовленному таким образом змею приделать хвост и снабдить его веревкой, то он поднимется в воздух, как и бумажный змей; но так как он сделан из шелка, то он лучше сможет выдержать удары ветра и дождя, не разрываясь при этом. На верхушке змея надо прикрепить тонкое проволочное острие. На конце пеньковой веревки близ руки следует привязать шелковую ленту, прикрепив в месте соединения веревки и ленты ключ. Змей следует запустить, когда собирается гроза. Человек, держащий змей, должен находиться за дверью или в каком-нибудь прикрытии, для того чтобы не промокла шелковая лента. Лишь только грозовые тучи показываются над змеем, острие его начинает извлекать из них электричество. Под влиянием последнего свободно висящие нити веревки отделяются друг от друга и при приближении к ним пальца притягиваются им. Когда дождь промочит веревку, так что она станет лучше проводить электричество, можно будет наблюдать, что при приближении руки к ключу из последнего начинает истекать электричество. Этим ключом можно заряжать стеклянные тела, а при помощи полученного таким образом заряда можно зажигать спирт и производить все прочие электрические опыты, которые производятся обыкновенно при помощи натертого стеклянного шара. Этим вполне доказывается тождество электрической материи и материи молнии“.

Франклин предложил еще и другой опыт, который был, однако, произведен в Европе раньше, чем в Америке, и который заключался в том, что в землю вкапывали высокие железные стержни и извлекали из них электричество во время грозы. Опыт этот некоторые французские исследователи произвели под Парижем в присутствии короля почти в то самое время, когда Франклин запустил свой змей. Впоследствии Франклин открыл, что облака бывают заряжены то положительным образом, то отрицательным. Эти исследования навели его под конец на мысль рекомендовать вышеуказанные железные стержни в качестве громоотводов для защиты зданий.

Предложение это было всеми принято в Америке, а вскоре затем и в Европе.

В письме от 12 сентября 1753 г. Франклин излагает соображения, пришедшие его к мысли об устройстве громоотвода. „Если вне здания, — читаем мы в этом письме, — установить железный стержень, идущий непрерывно от высшей точки строения вплоть до влажного слоя почвы, то стержень этот на верхнем своем конце станет извлекать молнию и будет затем хорошо проводить ее в землю. Таким образом можно помешать повреждению какой-либо части здания. При этом ничтожное количество металла может провести огромные количества электричества. Железная проволока не толще гусиного пера в состоянии была провести такое коли-

чество электричества, которое произвело на обоих концах проволоки страшные опустошения¹.

„Стержень должен быть прикреплен к стене или к дымоходу и т. д. с помощью железных скобок. Так как стержень — хороший проводник, то молния не покинет его и не проникнет через эти скобы в стену.

„Если здание слишком велико, то для большей безопасности можно установить в разных местах два или три стержня.

„Нижний конец стержня следует погрузить глубоко в почву, пока он не достигнет влажного слоя. Если затем согнуть стержень и горизонтально отвести его на 6—8 фут. от стены, а затем пустить его снова вниз на 3—4 фута, то он предохранит от поврежденный все камни фундамента“.

В изобретении Франклином громоотвода особенную роль сыграли опыты, производившиеся им для объяснения действия острий. Объяснение это он дал в письме от 29 июля 1749 г., в котором мы читаем следующее:

„Если электричество находится на поверхности шара, то ни одна частица электрической жидкости не стремится предпочтительно перед другой покинуть поверхность, ибо в этом случае притяжение, оказываемое материей на электрическую жидкость, повсюду одинаково. Если же вместо шара взять куб, то электричество будет сильнее притягиваться на гранях его, чем у вершин. Вследствие этого частицы электричества начнут под влиянием взаимного отталкивания течь по направлению к вершинам куба. Чем тоньше острие, тем сильнее сказывается это отталкивание, ибо притяжение материи на острие уменьшается и поэтому электричество должно устремляться туда“.

Не менее крупную роль, чем в науке, Франклин сыграл в политической истории своего отечества. Во время американской борьбы за независимость Франклин был в Париже, где в 1783 г. он подписал мирный договор. Восхищение, вызванное этим скромным и в то же время столь замечательным человеком у всех французов, нашло свое красноречивое выражение в словах Даламбера о нем: „Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis“² — слова, начертанных впоследствии на его надгробном памятнике.

Еще до своего возвращения в Америку Франклин заключил договор о дружбе и торговле с Швецией и Пруссией. В 1788 г. он отказался от общественной деятельности. Франклин умер

¹ Первый громоотвод был построен Франклином в 1752 г. В Англии стали строить громоотводы в 1762 г. (Уатсон), в Германии в 1769 г. В Германии впервые за практическое использование нового открытия высказался гамбургский врач Реймарус (Reimarus). Реймарус побудил физика Лихтенберга устроить в Геттингене громоотводы. Лихтенберг вместе с Кестнером (Kästner) построил громоотвод для университетской библиотеки. (См. *Mitteilungen zur Geschichte der Medizin u. d. Naturw.*, т. 4, № 1, стр. 104). Особенными врагами громоотводов были духовные лица всех исповеданий, видевшие в них посягательство на промысел божий! (Примечание О. Ф. Липпмана).

² Он низвел молнию с неба и вырвал скипетр у тиранов.

17 апреля 1790 г. Смерть его, как свидетельствует об этом речь Вашингтона, повергла его отечество в глубокий траур. Живое участие в этой всеобщей скорби приняла и Европа, где Мирабо посвятил его памяти некролог. В этот момент обнаружилось с полной силой чувство духовной связи между старым миром и новым, молодым очагом культуры. Правда, активное участие американского народа в разработке научных задач не произошло так скоро, как этого можно было ожидать судя по деятельности Франклина. В Америке необходимо было прежде всего покончить со множеством других проблем, так что прошло целое столетие, пока научное исследование пустило по ту сторону океана такие же прочные корни, как и в старых государствах Европы.

Важные опыты над атмосферным электричеством были произведены также де-Рома (de Romas), Рихманом (Richmann) и Лемонье.

Француз де-Рома (умер в 1776 г.) повторил летом 1753 г. опыт Франклина со змеем в более крупном масштабе. Он запустил змеем размером в 7,5 фута на высоту в 550 фут., привязав его к обмотанному вокруг железной проволоки шнуру длиной в 780 фут. Шнур был прикреплен к жестяной трубке, из которой можно было извлечь искры длиной в 8 фут.

Петербургский физик Рихман (1711—1753) установил шест, на нижнем конце которого находился электроскоп. Приблизившись к нему случайно во время грозы, он был убит выскочившей из шеста молнией.

Особенно важны были опыты француза Лемонье, которому удалось в 1752 г. доказать, что атмосфера заряжена электричеством и в тихую погоду даже тогда, когда на небе нет ни облачка.

ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В эту же эпоху, т. е. еще до открытия гальванических элементов, познакомились с химическими действиями электричества. Беккариа (Beccaria) доказал на опыте, что с помощью электрического разряда можно получить из окисей металлов чистые металлы. Беккариа получил таким путем цинк из окиси цинка и ртуть из киновари¹.

При пропускании электрического разряда через жидкость удалось также заметить химическое действие его. Так Пристли (Priestley) нашел в 1774 г., что с помощью электричества можно выделить водород из некоторых жидкостей, например из спирта. Среди всех жидкостей особый интерес исследователей всегда привлекало отношение воды к электричеству. Поэтому голландский химик ван-Труствик (van Troostwik) повторил в 1789 г. опыты Пристли, взяв для них воду. Желание получить, может быть, таким путем ответ на вопрос о химической природе воды было

¹ Beccaria, Lettere dell' elettricismo, стр. 282. См. J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808), т. 5, стр. 753.

в особенности вызвано исследованиями Лавуазье об образовании воды из водорода и окисей металлов¹. Полученные ван-Трустовиком результаты вполне соответствовали выводам Лавуазье. Когда ван-Трустовик разрядил лейденскую банку через дистиллированную воду, то жидкость разложилась на свои составные газообразные части². Если же он разряжал электрическую искру через получившуюся таким образом газовую смесь, то последняя превращалась обратно в воду.

Ван-Трустовик сообщает следующее об этом первом электролизе воды³:

„Изучая действие электрического разряда на различные вещества, я пришел к мысли проверить действие его также и на воду. С этой целью я наполнил дистиллированной водой трубку в $\frac{1}{8}$ дюйма диаметром и 12 дюйм. длиной. Один конец этой трубки был герметически запаян, но при его запаивании через него была продета в трубку золотая проволока. На некотором расстоянии от конца этой проволоки в трубке находилась другая проволока, выступавшая из второго, открытого конца трубки и вместе с этим концом погруженная в маленький стеклянный сосуд, наполненный дистиллированной водой. Затем я произвел электрический разряд между обеими проволоками, прошедший через находившуюся в трубке между ними воду. При каждом таком разряде на концах проволоки появлялась искра, а в воде образовывалась масса очень маленьких воздушных пузырьков. Чем сильнее были разряды, тем больше образовывалось газа. Полученный таким образом газ устремлялся к верхнему концу трубки и накаплился здесь до тех пор, пока воздушный столб не достиг конца верхней проволоки. В это мгновение электрическая искра, которая должна была пройти через газ, чтобы от конца проволоки достигнуть воды, внезапно зажгла газ, точь-в-точь как горючий воздух (водородный газ). В результате газ исчез целиком за исключением крайне ничтожного остатка. Удалив этот остаток, я снова произвел разряды через воду. Произошло новое образование газа, который после достижения им конца верхней проволоки загорелся, как и прежде, и полностью исчез за исключением ничтожного количества его. Я повторил один за другим много раз этот опыт и наблюдал каждый раз те же самые явления, с той только разницей, что после каждого возгорания газовый остаток становился все меньше и меньше.

„Из этих опытов вытекает, повидимому, что действие электрического разряда на воду сводится лишь к тому, что он побуждает принять газообразную форму — основу горючего воздуха (водородного газа).

„Оставалось еще выяснить, где источник жизненного воздуха (кислорода), существование которого обнаружилось благодаря взрыву горючего воздуха: берется ли он из воды или из остатка

¹ См. этот же том ниже.

² Fischer, Geschichte der Physik, т. 8, стр. 541.

³ Grens, Journal der Physik, т. 2, стр. 130 (1790).

атмосферного воздуха, который мог быть растворен в воде либо прилипнуть к стенкам трубки”.

Для решения этого вопроса ван-Труствик повторил много раз вышеописанный опыт. Обнаружившийся вначале остаток, указывавший на существование „растворенного в воде остатка атмосферного воздуха“, становился с каждым опытом все меньше и меньше и, наконец, почти совершенно исчез. Поэтому ван-Труствик считает себя вправе сделать тот вывод, что и кислород газовой смеси имеет своим источником воду. Предположение это подтвердилось целиком тогда, когда после открытия гальванического электричества удалось получить отдельно образующиеся при разложении воды газы.

Хотя таким образом уже задолго до изобретения гальванических элементов стали известны химические действия электричества, все же на первых порах это были скорее случайные наблюдения, не привлекавшие к себе особенного внимания, так как получавшиеся с помощью лейденской банки химические превращения были ничтожной величины. Только тогда, когда в гальваническом электричестве был найден гораздо более сильный источник химических разложений, открылась новая одинаково важная для науки и техники область исследований — область электрохимии.

Благодаря ряду опытов стали известны в ту эпоху также физиологические действия электричества. Внимание специалистов и профанов было прежде всего привлечено тем сильным сотрясением, которое вызывает в человеческом организме разряд лейденской банки. Врачи ожидали от этих сотрясений самых благоприятных результатов для своих пациентов. Парализованным больным предписывали „электрическую ванну“, для чего их помещали на изолирующей подставке и заставляли прикасаться к кондуктору электрической машины. После изобретения лейденской банки стали надеяться, что с помощью электрических разрядов можно будет исцелять не только параличи, но и всевозможные другие болезни. От середины XVIII в. сохранилось множество благоприятных медицинских отчетов о результатах лечения электричеством. Предпринимались даже опыты оживления мертвых при помощи электричества¹.

С той же быстротой, с какой электричество было возведено в ранг панацеи от всех болезней, оно и вышло из моды, пока в наше время при более трезвом подходе к нему в нем опять не усмотрели ценное, хотя и ограниченное в своем действии терапевтическое средство. Надо заметить, что и древним не была чужда идея лечения электричеством. Действительно, имеются сведения, что врачи эпохи римской империи применяли животное электричество против нервных страданий: для этого они заставляли больных прикасаться к электрическому скату, разумеется, ни в малейшей степени не догадываясь о причинах своеобразных свойств этого животного.

¹ См. Priesley, Geschichte der Elektrizität, стр. 261 и сл., а также Fischer, Geschichte der Physik, т. 5, стр. 837.

РЯД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Среди немецких современников Франклина в науке об электричестве особенно выдаются Вильке (Wilke) и Эпинус.

Иоганн-Карл Вильке родился 6 сентября 1732 г. в Висмаре, принадлежавшем еще тогда Швеции. Студенческие свои годы Вильке провел в Упсале, Геттингене и Ростоке, где в 1757 г. он выпустил очень дельную работу — диссертацию о противоположных видах электричества¹. Впоследствии Вильке стал секретарем Шведской академии наук и читал в Стокгольме лекции по физике. Он умер 18 апреля 1796 г.

В своей работе от 1757 г. Вильке указал на тот важный факт, что при трении двух тел друг о друга всегда возникают оба вида электричества. Вильке расположил затем исследуемые им вещества в ряд, каждый член которого при трении его о следующее за ним вещество наэлектризовывается положительным образом, при трении же о предшествующее вещество — отрицательным образом. Вот несколько членов этого ряда: стекло, шерсть, дерево, лак, металлы, сера. Впоследствии были установлены еще многочисленные другие ряды, в отдельных пунктах, однако, заметно отличавшиеся друг от друга. Это объясняется тем, что место какого-нибудь вещества в таком ряду определяется не только характером этого вещества, но и свойствами его поверхности. Особенно известны ряды Юнга (Young)² и Фарадея (Faraday). Мы здесь приведем ряд Юнга: стекло, шерсть, птичий перья, дерево, сургуч, металлы, смола, шелк, сера.

Далее Вильке открыл в 1757 г. новый способ получения электричества. Он нашел, что если дать застыть в фарфоровой чашке сере и смоле, то они приобретают отрицательный электрический заряд значительной силы. Вильке же составил первую карту магнитногоклонения. О его заслугах в области учения о теплоте мы будем говорить в следующей главе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВОТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Наряду с изучением электричества от трения и атмосферного электричества, познакомились и с электрическими явлениями, получающимися при помощи физиологических процессов и нагревания. Около середины XVII в. возникло предположение, что в упоминаемом уже древними авторами своеобразном действии электрического ската (Raja torpeda) на человека и другие живые существа мы имеем дело с электрическим явлением³. Со времени путешествия Рише (Richer) в Кайенну исследователи познакомились также с электрическим угрем (*Gymnotus electricus*) американских рек. Однако лишь через сто лет после того, как Рише⁴ сделал свое сооб-

¹ *Dissertatio inauguralis de electricitatibus contrariis*, Rostock 1757.

² Th. Young, *Lectures on natural philosophy*, London 1807, т. 2.

³ Действительно, нельзя было не заметить сходства ударов от лейденской банки и от названной рыбы.

⁴ В 1671 г.

3 Даннеман, т. III.

щение об этом любопытном животном, учение об электричестве развилось настолько, что можно было показать тождество вышеуказанных физиологических явлений с явлениями, получаемыми при трении тел друг о друга. С этой целью производили разряд рыбы через цепь из нескольких лиц, причем первое из них прикасалось к верхней поверхности тела рыбы, а последнее, наоборот, к нижней. При этом все испытывали такой же удар и сотрясение, какие производила лейденская банка. Второй опыт заключался в том, что производили разряд через наклеенную на стекло полоску из фольги, в которой имелся разрыв. При каждом произведенном рыбой ударе в месте разрыва проскакивала электрическая искра¹.

Рис. 3. Поперечный разрез электрического ската по рис. Гентера (Hunter), который первый исследовал точным образом электрические органы этого животного. (Phil. Trans. т. LXIII, табл. XX, фиг. 3).

AA представляет собою верхнюю часть рыбы; *BB* — перерезанные мускулы спины; *C* — спинной мозг; *D* — пасть; *E* — левая жабра, расщепленная, чтобы показать ход пронизывающих ее нервов; *F* — дышащая поверхность правой жабры; *GG* — плавники; *HH* — вертикальные столбы, составляющие электрический орган, с их горизонтальными отделениями; *G* — один из нервов, которыми снабжен электрический орган со своими разветвлениями.

Первое научное исследование, посвященное вопросам животного электричества, было опубликовано в 1773 г. Уольшем (Walsch). Уольш не только произвел вышеназванные опыты, но и показал, что у электрического ската электричество возникает в одном совершенно определенном органе, между тем как все остальное тело его подобно ткани любого животного является только проводником. Электрический орган ската помещается, как показал Уольш, между головой и грудными плавниками (рис. 3). Он состоит из многочисленных „столбов“ диаметром приблизительно в $\frac{1}{3}$ дюйма каждый. У некоторых электрических скатов Уольш насчитал свыше тысячи таких столбов. При производстве своих опытов Уольш получил самый сильный удар тогда, когда соединил проводником спину рыбы и брюхо ее².

¹ Fischer, Geschichte der Physik, т. 5, стр. 867.

² Исследования эти были подтверждены работами анатома Джона Гентера, подробно описавшего своеобразный орган электрических рыб в „Philos. Transactions“ от 1773 г.

Более точное название работы Уольша таково: „On the electric Property of the Torpedo. In a letter from John Walsch to Benjamin Franklin“ (12 июля 1772 г.). Уольш сообщает здесь о произведенных им в Ларошели исследованиях над пойманными там электрическими скатами. Эти исследования показали, что „действие ската совершенно подобно электрическому действию“. Разряды рыбы производились через цепь из нескольких лиц, а также через проволоку.

ОТКРЫТИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В середине XVIII в. был установлен также электрический характер другого, давно уже известного явления. Пробуя огнем драгоценные камни, ювелиры заметили, что если положить на раскаленные угли турмалин, то он начинает притягивать к себе частицы золы, а затем отталкивает их от себя¹. Это своеобразное действие нагретого турмалина на легкие тела, напоминающие электрический мятник, было тщательно изучено Эпинусом², нашедшим, что указываемое явление имеет место лишь при неравномерном нагревании обоих концов кристалла, которые при этом наэлектризовываются противоположным образом. Подобный кристалл, по словам Эпинуса, можно сравнить с магнитом, тоже обнаруживающим на обоих полюсах противоположные свойства³. Эпинус нашел у турмалина двойного рода электричество и показал, что „первое из них можно получить обыкновенным путем, при помощи трения, второе же,—нагревая до известной степени кристалл“. Электричество, вызываемое у турмалина путем трения, ничем не отличалось от электричества стекло-видных тел. Если же турмалин нагревали, то одна сторона его наэлектризовывалась положительным образом, другая же отрицательным. Таким образом нагретый турмалин обнаруживал „оба рода электричества, подобно тому как магнит обнаруживает двойную магнитную силу“⁴.

Из современников Эпинуса пироэлектричеством турмалина занимался особенно усердно химик и минералог Тоберн Бергман (Bergman), Бергман (1735—1784), бывший профессором химии в Упсале, показал, что турмалин становится электрическим не просто от нагревания, но от появления разницы температур. Если температура кристалла была постоянной, то он оставался нейтральным, независимо от того, была ли температура высокой или низкой. При нагревании один конец кристалла наэлектризовывался положительным образом, другой—отрицательным. При охлаждении электричество полюсов принимало противоположный характер. В одной из дальнейших глав, посвященной минералогии, мы еще вернемся к вопросу о пироэлектричестве турмалина.

¹ Поэтому турмалин называли также „притягивателем золы“.

² Франц-Ульрих-Теодор Эпинус, открывший электрическую индукцию и термоэлектричество, родился в 1724 г. в Ростоке, в котором он провел свои студенческие годы. Впоследствии он был профессором астрономии при Берлинской академии, но, приглашенный в Россию, уехал в Петербург, где преподавал физику и принимал участие в организации низшего и среднего школьного образования. Умер в 1802 г. в Дерпте.

³ *Epinus, Akademische Rede von der Aenlichkeit der elektrischen u. magnetischen Kraft*, Lpz., 1760. См. также *Dannemann, Aus der Werkstatt grosser Forscher*. Lpz. 1922, отдел 37.

⁴ Это вызываемое нагреванием у некоторых кристаллов электричество называли пироэлектричеством. При охлаждении электричество обоих полюсов принимает противоположный характер. Когда же температура делается постоянной, то кристалл становится снова нейтральным. Впоследствии это явление было обнаружено и у других минералов, например у известкового шпата, гипса, полевого шпата, плавикового шпата, алмаза и т. д.

ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ

Другую аналогию между магнитом и наэлектризованным телом Эпинус открыл в явлении электрической индукции. Подобно тому как железный стержень намагничивается вблизи магнита, так и наэлектризованное тело вызывает электрические явления в расположенном близко от него теле. Эпинус брал металлический стержень, лежавший на стеклянной подставке, и приближал к одному концу его наэлектризованное тело, но так, что оно находилось на некотором расстоянии от стержня. В этом случае конец металлического стержня, обращенный к электрическому телу, обнаруживал противоположное ему электричество, другой же, удаленный конец его,—электричество того же самого вида. Но достаточно было незначительного изменения в обстановке опыта, чтобы притти к совершенно отличным результатам. Действительно, когда Эпинус приближал к металлическому, покоившемуся на стеклянной подставке стержню наэлектризованное тело настолько, что они соприкасались друг с другом, то стержень весь наэлектризовывался лишь тем видом электричества, каким обладало тело, с которым он соприкасался.

Наблюдение, что наэлектризованные путем нагревания или через индукцию тела обнаруживают на обоих концах противоположные электричества, навело Эпинуса на мысль об аналогии между электрическими явлениями и магнитными, у которых, как известно, всегда наблюдается подобного рода полярность. Однако тогда еще не наступило время познать внутреннюю связь этих сил природы, установление которой было одной из важнейших задач, выпавших на долю науки XIX в.¹

Очень правильные взгляды высказал также Эпинус насчет отношения между проводниками и непроводниками. Между обеими группами веществ нет, по его мнению, принципиального различия. Различие между ними сводится только к разнице оказываемого разными телами сопротивления, а в связи с этим и разной скорости проведения электричества. С этой точки зрения проводниками являются те вещества, сопротивление которых ничтожно, а непроводниками—тела, сопротивление которых очень велико. Поэтому электрический разряд через непроводники требует гораздо больше времени. На этой концепции Фарадей основал впоследствии свою теорию остаточного электричества.

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛЫ

Открытия в области статического электричества нашли известное завершение в работах Куложа (Coulomb), внесшего метод ко-

¹ Только Фарадею удалось установить глубокую связь между электрическими и магнитными явлениями и показать, что и те и другие представляют проявление одной и той же силы природы. Согласно электромагнитной теории Максвелла (Maxwell), а также опытам Герца (Herz) электричество, магнетизм, лучистая теплота и свет сводятся к определенным состояниям эфира. Более подробно об этом будет сказано в других главах предлагаемой книги.

личественного исследования в эту, до сих пор изучавшуюся преимущественно с качественной стороны, область.

Шарль-Огюстен Кулон родился 14 июня 1736 г. в Ангулеме. Ход развития его до известной степени напоминает жизненный путь Отто фон-Герике. Как и Герике, Кулон начал свою карьеру практическим инженером и лишь впоследствии перешел к исследованию чисто научных вопросов. Все работы Кулона по физике тесно связаны, как мы сейчас увидим, с техническими проблемами. Студенческие годы Кулон провел в Париже, потом, став инженерным офицером, он отправился на остров Мартинику, где руководил работами по постройке укреплений. В 1776 г. он вернулся во Францию и начал здесь заниматься технико-механическими исследованиями. Особенно интересовали его проблемы трения, кручения и сопротивления материалов. В своей первой работе он изучал сопротивление горизонтальной балки прямоугольного сечения, один конец которой закреплен, а другой носит на себе груз. Для веса Q , при котором происходит разрыв балки, Кулон нашел значение $\frac{1}{6} k \frac{bh^2}{l}$, где k означает коэффициент сопротивления растяжению, b —ширину, h —высоту поперечного сечения и l —высоту балки. Аналогичные исследования Кулон произвел над сопротивлением опор, нагруженных в направлении осей, а также над давлением земли на стенную обшивку. В другой работе Кулон исследовал теорию простых машин, учитывая жесткость веревки и величину трения. За эту работу он получил в 1781 г. премию и был выбран членом Академии наук. Чтобы определить коэффициент трения, Кулон заставлял скользить изучаемое вещество на подставке из того же материала и определял требовавшуюся для приведения тела в движение силу¹.

К вопросам электричества и магнетизма внимание Кулона было привлечено премией, назначенной Академией наук за лучшую конструкцию корабельного компаса. В связи с начатым для этого исследованием Кулон, используя вышеупомянутые свои работы о сопротивлении материалов, в особенности о сопротивлении кручению, изобрел в 1785 г. свои крутильные весы. Представление об устройстве этого прибора и способе пользования им дает рис. 4².

Стеклянный цилиндр $ABCD$ высотой примерно в 30 см прикрыт стеклянной крышкой, в которой проделано два отверстия. Через середину крышки проведена свободно висящая укрепленная на диске op серебряная проволока qP , на нижнем конце которой висит подвергающийся электризации и по возможности изолированный шарик a . Маленький диск g служит лишь в качестве противовеса шарика a . Шарик a и g соединены между собой шелковой ниткой, покрытой сургучом. На диске op , на котором укреплена серебряная нить, и

¹ Отметим еще, между прочим, что путем механических исследований Кулон доказал, что силы человека совершенно недостаточно, чтобы поднять его на крыльях в воздух.

² Vier Abhandlungen über die Elektrizität und den Magnetismus von Coulomb übersetzt und herausgegeben von Walter König (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 13, Lpz., Verlag von Wilhelm Engelmann, 1890).

на окружности большого стеклянного цилиндра нанесены градусные деления. Находящиеся на рисунке направо части (H служит оправой градуированного диска G) собираются при производстве опыта

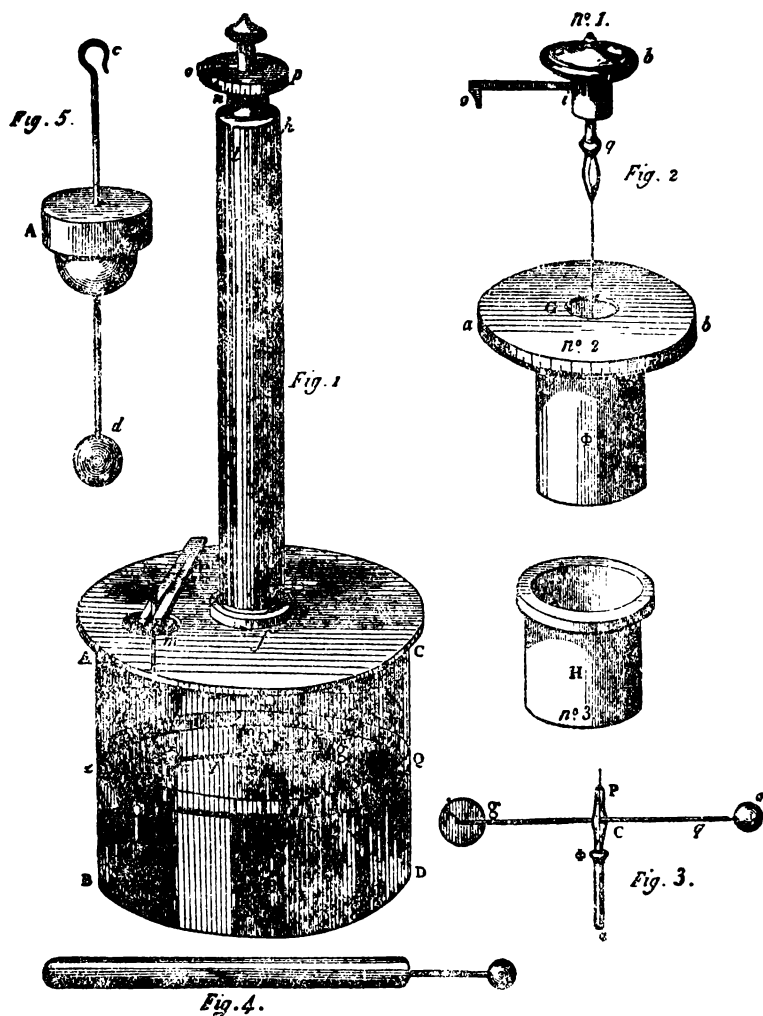


Рис. 4. Электрические весы Кулона.

вместе и вставляются в стеклянную трубку длиной в полметра, находящуюся над цилиндром. Через боковое отверстие в стеклянной крышке вводят наэлектризованный шарик *d*, действие которого на висящее наэлектризованное тело *a* желают измерить. Сила отталкивания измеряется кручением серебряной проволоки. На градусном

делении можно отсчитать величину того кручения, которое требуется для приведения шарика *a* в его первоначальное положение.

Свои работы о кручении нитей и металлических проволок Кулон опубликовал за год до изобретения крутильных весов¹. В этих исследованиях он пользовался методом качаний или колебаний. Он показал, что колебания тяжелого подвешенного на нити тела (рис. 5) изохронны. Если это так, то сила кручения должна быть пропорциональна углу кручения. Результаты своих наблюдений на проволоках различной длины *l* и толщины *D* Кулон мог выразить в следующей формуле: момент вращения силы кручения равняется $\mu \cdot \frac{B \cdot D^4}{l}$.

В этой формуле μ обозначает характеристическую константу материала, а *B* — угол кручения.

В основе крутильных весов Кулона лежит открытое им свойство проволок противостоять при кручении силу, пропорциональную углу кручения. Для измерения ничтожнейших действий электрических и магнитных сил Кулон брал столь тонкую проволоку, что углу кручения в 1° соответствовала сила кручения в 0,00001 грама. Если нить привеса служил шелковичный кокон, то достаточно было уже силы в $\frac{1}{60000}$ грама, чтобы закрутить нить на 360°².

Важнейший результат опытов Кулона сводится к доказательству закона, что „сила отталкивания двух небольших, одинаково наэлектризованных шариков обратно пропорциональна квадрату расстояния центров обоих шариков“³.

Для доказательства этого основного закона Кулон поступил следующим образом. Он установил диск *ор* (см. рис. 4) так, что шарик *a* находился под боковым отверстием стеклянной крышки. Если теперь наэлектризовать равновеликий шарик *d* и провести его через отверстие до соприкосновения с подвижным шариком *a*, то оба шарика получают одинаковый и одинаковой плотности электрический заряд. При этом подвижной шарик отклоняется на 36°. Теперь поворачивают в противоположную отклонению сторону верхний диск с делениями, пока угол отклонения между шариками не станет равным только 18°. Таким образом расстояние между обоими шариками равно теперь половине прежнего расстояния, между тем как кручение составляет

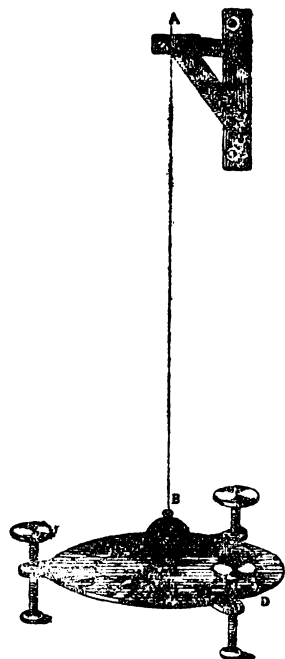


Рис. 5. Исследование Кулоном кручения.

¹ Mémoires de l'Acad. royale, 1784, стр. 229 и сл.

² Гран равняется примерно 0,06 г.

³ Ostwalds Klassiker, № 13, стр. 7.

теперь $126 + 18 = 144^\circ$, т. е. возросло в четыре раза. Чтобы довести расстояние между шариками до $\frac{1}{4}$ первоначального расстояния, надо закрутить нить на 576° , т. е. увеличить угол кручения в 16 раз. Из опытов этого рода и следует вышеупомянутый закон.

В своем втором мемуаре от 1785 г. Кулон распространил свои исследования на силу притяжения наэлектризованных тел и на силы притяжения и отталкивания тел намагниченных. Он получил при этом следующие результаты:

1. Сила притяжения и отталкивания двух наэлектризованных шариков и следовательно, двух электрических молекул прямо пропорциональна плотности электричества и обратно пропорциональна квадрату расстояния.

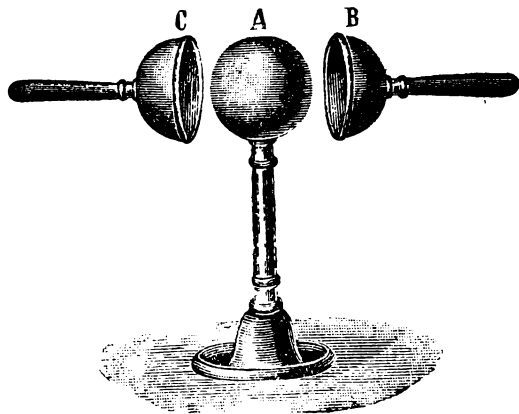


Рис. 6. Опыт Кулона над распределением электричества.

В первых опытах Кулона имелся источник ошибок, заключавшийся в потере электричества во время опыта. Чтобы учесть эту потерю электричества в воздух и в прибор, на котором висел наэлектризованный шарик, необходимо было новое исследование, результаты которого были изложены в третьем мемуаре от 1785 г. Оказалось, что потеря электричества растет вместе с влажностью воздуха. При этом коэффициент потери электричества прямо пропорционален градусам изобретенного Соссюром (Saussure) и описанного нами в другом месте волосяного гигрометра¹.

Под конец Кулон обратился к изучению вопроса о распределении электричества. Он прикрыл изолированный металлический шар (рис. 6) двумя полушаровидными чашками, снабженными изолирующими ручками. Наэлектризовав затем весь прибор, он убрал чашки. После этого оказалось, что шар совершенно не имеет электричества, а чашки, наоборот, были наэлектризованы². Если первоначально наэлектризовывали только шар и лишь затем покрывали его чашками, то по удалении последних получался тот же результат, что и в первом опыте³.

¹ См. Ostwalds Klassiker, № 115.

² Mémoires de l'Académie royale, 1788, стр. 620 и сл.

³ Эти основные опыты о распределении электричества производил еще до Кулона Кавендиш (Cavendish), как это видно из его недавно опубликованных исследований об электричестве.

Кулон формулировал следующие два основных закона распределения электричества: 1) электричество распространяется на всех проводящих телах в соответствии с фигурой этих тел, не обнаруживая, повидимому, никакого предпочтения к одному какому-нибудь телу перед другими; 2) в наэлектризованном проводящем теле электричество распространяется по поверхности его, не проникая внутрь тела.

Как Кулон, так и Кавендиш поняли, что свойство электричества распространяться по поверхности проводящих тел, не проникая внутрь их, является следствием закона отталкивания обратно пропорционально квадрату расстояния.

Вместе с Кулоном завершается первый период в развитии учения об электричестве. Его работы относились к электростатике и довели эту область знания до высокой степени совершенства. Кулон не обращал еще никакого внимания на свойства диэлектриков. Изучение диэлектриков явилось уделом новейшего, начатого Фарадеем периода в развитии учения об электричестве. Для Кулона электрическое притяжение и отталкивание были, как и ньютоново тяготение, силами дальнего действия, распространяющимися мгновенно через пустое пространство. Однако это обстоятельство нисколько не умаляет значения исследований Кулона, притязавших лишь на то, чтобы быть образцовыми измерительными работами без всякой примеси умозрения¹. В качестве таких образцовых измерительных работ они явились той основой, на которой следующее поколение воздвигло математическую теорию электрических и магнитных явлений, — задача, решенная в первые десятилетия XIX в. с помощью методов высшего математического анализа, в частности с помощью теории потенциала².

¹ Такой именно характер носят часто работы французских физиков. (Примечание Э. Видемана.) (*) Здесь и в дальнейшем звездочка означает ссылку на помещенные в конце книги примечания редакции с нумерацией по соответствующим страницам.

² См. G. Green, Ein Versuch die mathematische Analysis auf die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus anzuwenden. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 64. Herausgegeben von v. Oettingen und Wangerin, Lpz., Verlag von Wilhelm Engelmann, 1895.



III

ПРАКТИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ УСПЕХИ В ОБЛАСТИ УЧЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ

Если главный стимул к изучению электрических явлений заключался в совершенно необычайном и чудесном характере их, то тепловые явления стали привлекать к себе особенное внимание с тех пор, как познакомились с движущей силой пара и научились пользоваться ею. Уже в древности благодаря опытам Герона Александрийского стали известны свойства этой силы. К тем же результатам пришли в начале нового времени Порта и другие исследователи. Папину, однако, принадлежит основополагающий опыт, приведший к изобретению паровой машины, о которой могла возникнуть речь лишь тогда, когда благодаря силе пара были приведены в движение так называемые простые машины. Этот опыт показывают еще и в наше время при преподавании начатков физики. Папин кипятил воду в цилиндрическом сосуде¹, в котором находился подвижной, плотно прилежавший к стенкам поршень (рис. 7); при нагревании воды поршень поднимался вверх силой пара; при следовавшем за этим охлаждении он опускался вниз вследствие давления воздуха. Однако это данное Папином решение проблемы паровой машины носило скорее теоретический характер, чем практический. На рис. 7 воспроизведен оригинальный чертеж Папина, изображающий придуманный им прибор.

Денис Папин родился в 1647 г. в Блуа и умер в 1712 г. в Лондоне. Он прожил много лет в Гессене (в Марбурге и Касселе) и находился в оживленной научной переписке с Гюйгенсом и Лейбницем.

Гюйгенс сыграл также немаловажную роль в изобретении Папина, который с 1670 г. жил довольно долгое время в Париже, где по предложению Академии наук был назначен помощником Гюйгенса.

¹ Паровой цилиндр Папина находится теперь в кассельском музее. Он предназначался для большой насосной машины, которая, однако, не была закончена. В 1707 г. Папин спустился вниз по течению реки Везера на колесном судне. Судно это, которое не было еще настоящим пароходом и предназначалось лишь для подготовительных опытов для постройки последнего, было уничтожено мюнхенскими моряками, враждебно относившимися к планам Папина. Папин, подобно многим другим великим изобретателям, умер в нужде.

В немецком музее в Мюнхене древнейшим паровым машинам посвящен особый зал (зал 8). В соседнем (9) зале представлено дальнейшее развитие паровой машины, включая машины кратного расширения, паровые турбины и т. д.

Гюйгенс-то¹ и натолкнул Папина на мысль использовать в качестве движущей силы огонь. Придуманый Гюйгенсом прибор состоял из цилиндра, в котором поршень поднимался вверх силой взрыва пороха и опускался вниз благодаря давлению воздуха. Папин помогал Гюйгенсу при изготовлении этого прибора. В основе пороховой машины Гюйгенса лежит та же идея, что и в основе изобретенной лишь в XIX в. газовой машины. При замене движущей силы пороха силой пара получалась паровая машина. Гюйгенс имел уже в виду и эту идею, и вполне возможно, что его ученик Папин заимствовал у него свой проект паровой машины.

Папин опубликовал² свое изобретение в работе под заглавием: „Новый метод получения значительной движущей силы за недорогую цену“. Но практическое значение идея Папина получила лишь тогда, когда английский механик Ньюкомен (Newcomen) занялся по поручению Королевского общества проектом Папина. Самое существенное улучшение, внесенное Ньюкоменом в атмосферную машину, заключалось в соединении поршневой штанги с коромыслом. Папин пытался превратить прямолинейное движение поршня в круговое, для того чтобы приводить таким образом в движение построенную им колесную лодку³.

Создающие эпоху технические изобретения обыкновенно вызываются какой-нибудь повелительной потребностью. По этой именно причине практически пригодная паровая машина была изобретена в определенное время и в определенном месте. В Англии уже в середине века обратили внимание на заключающиеся в почве в виде минерального топлива сокровища. Вместе с уничтожением в стране лесов стала все больше увеличиваться добыча каменного угля. При этом в поисках угольных пластов приходилось забираться все глубже и глубже, пока не опустились на такую глубину, что с по-

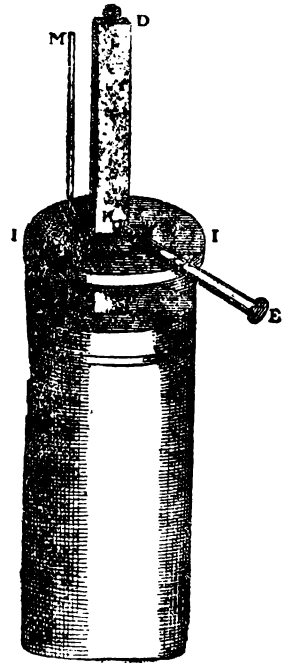


Рис. 7. Первая паровая машина Папина.

AA — Железный цилиндр, BB — поршень, DD — поршневая штанга, II — крышка цилиндра. Вращающийся вокруг F рычаг EE приводится в движение поршневой штангой. Пружина G постоянно вдавливала рычаг в вырез поршневой штанги. В поршне находилось отверстие, на которого при первом опускании его выходил находившийся в цилиндре воздух. MM — стержень, закрывавший после опускания поршня вышеупомянутое отверстие. При нагревании воды пар поднимал поршень вверх, при охлаждении же на поршень действовало только давление воздуха. Таким образом машина Папина была еще не настоящей паровой машиной, а атмосферной машиной, действовавшей силой давления воздуха.

¹ J. Bosscha, Christian Huygens, Lpz., 1895, стр. 33 и сл.

² Acta eruditorum, 1690.

³ Ernst Jäger, Denis Papin und seine Nachfolger in der Erfindung der Dampfmaschine, Stuttgart 1902. См. работы К. Матчеса (Matschoss): Geschichte der Dampfmaschine, mit 118 Abbildungen, Berlin, Springer, а также Эрнауф (Ernauf), Denis Papin, sa vie et son oeuvre, Paris, Hachette, 1888, 4-е изд.

мощью животной и человеческой силы стало невозможным откачивать воду из копей. Для этой цели в XVIII в. прибегли к силе пара. После многих бесполезных попыток Ньюкомену удалось построить машину на основе идеи Папина. Уже в 1698 г. английский горный чиновник Севери (Savery) взял патент на машину, откачивавшую воду с помощью пара. Но машина эта была еще крайне несовершенна. Поэтому Севери объединился с Ньюкоменом и одним стекольщиком. В 1705 г. они взяли втроем патент на новую машину. В 1711 г. этот патент перешел в исключительное обладание Ньюкомена, который в 1712 г. построил первую, названную по его имени, машину. Эта машина делала лишь 10 подъемов в минуту,

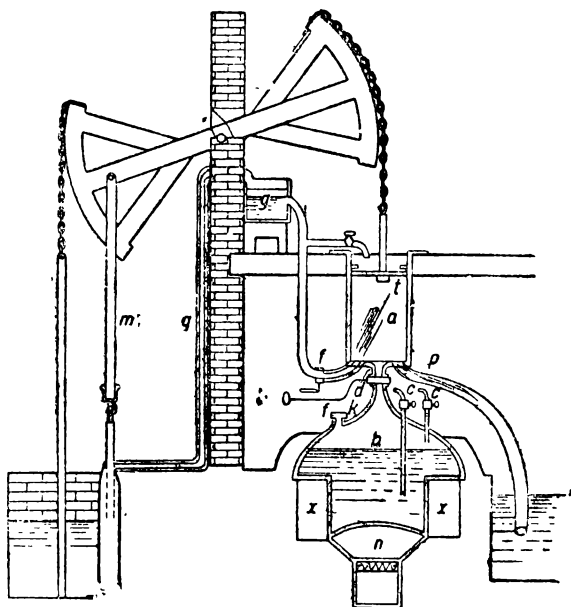


Рис. 8. Паровая машина Ньюкомена.

но выкачивала такое количество воды, для удаления которой прежде требовалось 50 лошадей и в 6 раз больше расходов. В машине Ньюкомена (рис. 8), как и в машине Папина, сила пара служила лишь для того, чтобы поднимать поршень *t* и посредством коромысла опускать штангу насоса. Что же касается гораздо большей движущей силы, необходимой для подъема воды, то она имела своим источником не давление пара, но давление воздуха, действовавшего на поршень после сгущения пара. Дело в том, что когда поршень поднимался и клапан *d* закрывался, то пар сгущали тем, что лили на поршень холодную воду.

Но вскоре обнаружилось, что не совсем герметические машины, в которых вода для охлаждения проникала под поршень и благодаря этому приходила в непосредственное соприкосновение с паром,

работали гораздо быстрее. Это наблюдение привело к тому, что стали намеренно впрыскивать воду в наполненное паром пространство, для чего на первых порах требовался особый человек. Впоследствии соединили краны с коромыслом, благодаря чему стало возможным автоматическое закрывание и открывание их¹.

Паровая машина в том виде, какой ей придал Ньюкомен, оказала огромные услуги английской углепромышленности до середины XVIII в., не привлекая к себе особенного внимания физиков. Но однажды один молодой механик по имени Джемс Уатт (Watt)², заведывавший приборами Глазговского университета, получил поручение починить модель ньюкоменовской машины. Маленький аппарат этот до того заинтересовал Уатта, что он посвятил всю свою жизнь усовершенствованию паровой машины. Самый существенный недостаток машины Ньюкомена Уатт усмотрел в том обстоятельстве, что стенки цилиндра охлаждаются вводимой в него водой и что после каждого подъема поршня их должны снова нагревать струей пара. Недостаток этот Уатт устранил тем, что он стал сгущать пар вне цилиндра в особом конденсаторе, так что цилиндр, окруженный, кроме того, плохими проводниками тепла, сохранял все время температуру пара. Благодаря этим улучшениям, введенным Уаттом в 1765 г., получалась значительная экономия в топливе. Через несколько лет он внес уже коренные изменения в паровую машину³, заставив действовать пар высокого давления попеременно на обе стороны поршня. Только теперь из атмосферной по существу машины получилась настоящая паровая машина (рис. 9). Дальнейшие улучшения заключались в применении воска и растительного масла для плотного смыкания частей машины, а также в регулировании хода поршня при помощи центробежного маятника. Обширное поприще для новых приложений паровой машины открылось тогда, когда Уатту удалось превратить прямолинейное движение поршневой штанги во вращательное. Только теперь можно было приступить к передаче силы на более значительные расстояния, а также к применению паровой машины для движения кораблей и экипажей. Паровая машина стала вскоре одним из могущественнейших факторов роста промышленности, а в связи с этим и общего подъема культуры⁴.

¹ Подробную историю паровой машины написал, по поручению союза немецких инженеров, К. Матчос в дополнение к своему, цитированному на стр. 40 сочинению. Оно вышло в 1908 г. в издательстве Ю. Шпрингера в Берлине, в двух томах, под заглавием: C. M a t s c h o s s, Die Entwicklung der Dampfmaschine. Eine Geschichte der ortsfesten Dampfmaschine und der Lokomobile, der Schiffsmaschine und Lokomotive.

² Родился 19 января 1736 г. в Грннике. Подробнее о жизни и роли Джемса Уатта см. в книге А. Эрнста (A. Ernst). James Watt und die Grundlagen des modernen Dampfmaschinenbaus. Mit einem Bildniss von J. Watt und 27 Textfiguren. Berlin, J. Springer, 1897.

Оригинал машины Уатта находится в Лондоне. В немецком музее в Мюнхене имеется точная копия ее (см. рис. 9).

³ Патент на это помечен 5 января 1769 г.

⁴ Уже в 1810 г. число паровых машин в Великобритании равнялось 5 000. В Пруссии более широкое применение паровых машин началось лишь после 1830 г. Первая паровая машина была установлена в Пруссии в 1778 г. в одном руднике; вторая же была установлена лишь в 1822 г. в королевской фарфоровой мануфактуре.

Еще при жизни Джемса Уатта, умершего 19 августа 1819 г.), Фултон¹ (Fulton) спустил свой пароход на воды реки Гудзона, а Стефенсон (Stephenson) пустил свой первый локомотив (25 июля 1814 г.). Этот локомотив двигался по узкоколе²вке, служившей для перевозки угля, и тащил 8 вагонов в 30 000 кг веса при уклоне пути в 1:450. Скорость, развитая локомотивом, равнялась 6,4 км/час². Но еще за шесть лет до того другой англичанин демонстрировал своим соотечественникам маленький локомотив, который при давлении пара приблизительно в 3 ат делал 24 км/час и получил

Рис. 9. Паровая машина Уатта.

прозвище „Catch me, who can“ („Лови меня, кто может“)³. Несмотря на это лишь в 1830 г. Стефенсон построил первую, приспособленную для общего пользования железнодорожную линию между Ливерпулем и Манчестером⁴.

Расцвет индустрии, торговли и средств сообщения под влиянием деятельности людей, которые подобно Уатту и Стефенсону создали покоящуюся на научных основах технику, отразился в свою очередь косвенным образом и на развитии науки. Так, например, уже Уатту пришлось определить неизученное до него точным образом отношение объемов воды в жидком и газообразном состоянии. Ведь ему необходимо было знать, как часто мог быть заполнен паром его цилиндр при испарении определенного количества воды.

¹ В 1807 г.

² „Engineering“, 1894, т. 1, стр. 644.

³ Berndt, Die Entwicklung der Lokomotive, Darmstadt 1896.

⁴ Старейший, сохранившийся еще доныне паровой экипаж находится в Париже. Построенный в 1769 г. Кюньо (Cugnot), он находился в употреблении лишь короткое время. Точная копия его (см. рис. 10) находится в немецком музее в Мюнхене.

ДЖЕМС УАТТ

1736—1819

Уатт установил, что при превращении воды в пар объем ее увеличивается приблизительно в 1700 раз. Изучая сгущение пара, он убедился, что скрытая теплота парообразования воды равна 534 единицам теплоты (калориям). Уатт пользовался только низкими давлениями, однако он уже научился измерять расширение пара. Чтобы исследовать это расширение пара и составить себе представление о его работе, Уатт сконструировал употребляемый еще и теперь при составлении диаграмм пружинный индикатор.



Рис. 10. Первый паровой экипаж.

В Вестминстерском аббатстве воздвигнут памятник Уатту со следующей надписью:

*

НЕ ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ УВЕКОВЕЧИТЬ ИМЯ,
КОТОРОЕ БУДЕТ ЖИТЬ, ПОКА ПРОЦВЕТАЮТ МИРНЫЕ ИСКУССТВА,
НО ЧТОБЫ ПОКАЗАТЬ,
ЧТО ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ВОЗДАЕТ ПОЧЕСТИ ТЕМ,
КОМУ ОНО ОБЯЗАНО БЛАГОДАРНОСТЬЮ,
КОРОЛЬ, ЕГО СЛУГИ, А ТАКЖЕ МНОГОЧИСЛЕННЫЕ ДВОРЯНЕ
И ГРАЖДАНЕ КОРОЛЕВСТВА
ВОЗДВИГАИ ЭТОТ ПАМЯТНИК *ДЖЕМСУ УАТТУ*.
ЕГО ГЕНИЮ УДАЛОСЬ
ПУТЕМ ОПЫТА
УСОВЕРШЕНСТВОВАТЬ ПАРОВУЮ МАШИНУ.
БЛАГОДАРИ ЭТОМУ ОН УМНОЖИЛ БОГАТСТВА СВОЕГО ОТЕЧЕСТВА,
УВЕЛИЧИЛ МОЩЬ ЛЮДЕЙ
И ПОДНЯЛСЯ ДО ВЫСОКИХ СТУПЕНЕЙ
СРЕДИ ВЕЛИКИХ ДЕЯТЕЛЕЙ НАУКИ,
ЭТИХ ИСТИННЫХ БЛАГОДЕТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА.

*

НАЧАТКИ ТЕРМОМЕТРИИ

В XVIII в. получил окончательную форму подобно паровой машине и другой, возникший из изучения тепловых явлений прибор — именно термометр. Мы уже отметили заслуги Галилея и Accademia del Cimento в деле изобретения этого инструмента ¹. От усовершенствования термометра зависели в первую очередь успехи в области учения о теплоте. Уже одно только стремление к этому усовершенствованию имело следствием ряд важных открытий. Хотя члены Accademia del Cimento уже пользовались при своих исследованиях настоящими, основанными на расширении спирта термометрами, но шкала этих термометров была еще совершенно произвольна. В 1693 г. один член Accademia del Cimento ² предложил принять в качестве основных точек термометра точки замерзания и кипения

¹ См. т. 2. гл. 3 и 4.

² Ренальдини.

воды. К концу XVII в. ряд ученых установил, что эти температурные точки постоянны. Так, в 1693 г. Галлей указал на постоянство точки кипения воды. Еще до него члены *Accademia* заметили постоянство точки замерзания воды. Тем не менее флорентийским физикам не пришло в голову воспользоваться этими точками для установления шкалы термометра. Также мало думали об использовании упомянутых точек Галлей и Гук, много занимавшиеся в Англии вопросами термометрии¹.

Надо было прежде всего тщательно исследовать расширение спирта, воды, ртути и других жидкостей, — задача, которой раньше всего стал заниматься Галлей². Галлей нашел, что коэффициент расширения ртути для температурного промежутка от точки таяния льда до точки кипения воды равен $\frac{1}{73}$. Он считал это расширение столь ничтожным, что колебался предложить ртуть в качестве жидкости для термометра. С другой стороны, Галлей обратил внимание на то, что расширение ртути от теплоты должно оказывать влияние на показания барометра. Однако он не сделал из этого вывода о необходимости внести соответствующую поправку в показания этого инструмента.

В качестве верхней температурной точки Галлей предложил температуру кипения спирта, в качестве же нижней точки — температуру глубоких погребов, ибо он считал, что ее легче определить, чем температуру замерзания жидкостей.

Проблема устройства вполне сравнимых, пригодных для научных исследований термометров была решена не ученым физиком, а человеком практической складки, немцем Фаренгейтом (*Fahrenheit*).

Фаренгейт родился в 1686 г. в Данциге. Отправившись по торговым делам в Голландию, где с давних времен процветало искусство изготовления стеклянных приборов для практических и научных целей, он там отдался этому искусству. Фаренгейт умер в Амстердаме в 1736 г.

Задача, которую поставил себе Фаренгейт и которую он преследовал всеми находившимися в его распоряжении научными средствами, но в чисто коммерческих целях, заключалась в изготовлении пригодных для пользования термометров. Его первые термометры были наполнены спиртом и уже до 1710 г. получили широкое распространение во многих северных городах Европы. Рассказывают³, что философ Христиан Вольф (*Wolf*) в Галле не мог достаточно надивиться согласному ходу двух термометров, присланных ему Фаренгейтом.

Фаренгейт вычитал в книгах, что высота ртутного столба в барометре зависит от температуры. Это навело его в 1720 г.

¹ Проблемы термометрии подробно рассматриваются в книге К. Мейера: *K. Meyer, Die Entwicklung des Temperaturbegriffs, F. Vieweg, 1913.* (Примечание Э. Видемана.)

² *Halley, An account of several experiments, made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids, by heat and cold, in order to ascertain the divisions of the thermometer („Phil. Trans.“, 1693).*

³ *Fischer, Geschichte der Physik, т. 3, стр. 221.*

на мысль использовать в качестве жидкости для термометра ртуть. В основу своей шкалы он положил следующие три точки:

1) точку „сильнейшего холода, как его можно получить при смешении воды, льда и нашатыря“; он обозначил эту точку нулем и считал ее абсолютным нулем температуры;

2) точку таяния льда, которую он обозначил числом 32;

3) температуру внутри полости рта или теплоту крови, на постоянство которой обратили внимание уже флорентинцы¹; Фаренгейт обозначил эту точку числом 96.

Вероятно, Фаренгейт при устройстве своей шкалы воспользовался также точкой кипения воды², но умолчал об этом обстоятельстве из чисто коммерческих соображений. Фаренгейт определил также точки кипения различных жидкостей. В 1724 г. он опубликовал по этому вопросу таблицу, из которой мы приведем следующие данные:

спирт.	. . 178°
чистая вода	. . 212°
серная кислота	. . 546°

Фаренгейт установил точно удельные веса исследованных им жидкостей, для того чтобы полученные данные были сравнимы с позднейшими исследованиями³. То обстоятельство, что температура кипения чистой воды равняется по шкале Фаренгейта 212° и что, следовательно, расстояние ее от точки замерзания воды равно 180°, не было вовсе, как это часто думают, исходным допущением Фаренгейта, а являлось результатом принятых первоначально неподвижных точек 0°, 32°, 96°.

В работе, вышедшей также в 1724 г., Фаренгейт сообщил о важном открытии, вносящем ограничение в утверждение, что точка кипения воды равняется 212°. По словам Фаренгейта⁴, он убедился, что эта точка „неизменна при неизменном давлении атмосферы, но что при изменении давления атмосферы она изменяется в различных направлениях“.

В связи со своими термометрическими изысканиями Фаренгейт открыл явление, известное под именем переохлаждения и заключающееся в том, что находящаяся в полном покое вода может быть охлаждена значительно ниже нуля, не замерзая при этом⁵. По его словам он заинтересовался вопросом, каково будет действие холода, если внести воду в безвоздушное пространство. С этой целью

¹ На это обратил внимание Борелли, который, как мы знаем, был одним из основателей современной физиологии.

² E. Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre, 1896.

³ Daniel Gabriel Fahrenheit, Versuch über den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten. Переиздано в 57-м томике оствальдовской серии классиков точного знания (Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1894).

⁴ Ostwalds Klassiker, № 57, стр. 17.

⁵ См. работы Фаренгейта по термометрии (Ostwalds Klassiker, № 57).

Очерк жизни Фаренгейта дал А. Момбер (A. Mombser), см. „Altpreuss Monatschrift“. Jahrgang 1887, стр. 138. Königsberg. i. Pr., Verlag von F. Beyer, 1887.

он наполнил стеклянный шар до половины чистой водой, выкачал из него воздух и выставил его ночью на холод приблизительно в 10° . На следующее утро Фаренгейт заметил, что вода все еще не замерзла. Первоначально он приписал это непредвиденное обстоятельство отсутствию воздуха. Он только еще более утвердился в этом ошибочном предположении, когда, открыв сосуд, он к своему изумлению, заметил, что температура воды поднялась до точки замерзания, а вся масса жидкости оказалась пронизанной ледяными иглами.

Фаренгейт принялся с большим рвением за изучение этого замечательного явления. Прежде всего он поставил себе вопрос, может ли иметь место замерзание и в безвоздушном пространстве. Повторив опыт, он стал встряхивать переохлажденную воду, лишенную доступа к ней воздуха. При сильном встряхивании вся масса воды почти мгновенно оказалась теперь пронизанной ледяными иглами¹.

Изготовлением термометров со сравнимыми шкалами занимался также Француз Реомюр (Réaumur). Однако результаты его обширного исследования были невелики². Реомюр определял градусы термометра на основании изменения объема спирта при соответствующих изменениях температуры. Для получения сравнимых результатов надо было, разумеется, брать спирт совершенно определенной концентрации. Реомюр предложил брать для всех построенных по его методу термометров спирт, объем которого „равняется при замерзании воды 1000, а при кипении воды 1080“³. Всем известное число 80 реомюровой шкалы имеет своим источником это предложение.

В связи со своими термометрическими исследованиями Реомюр сделал важное открытие, что объем смеси жидкостей может быть меньше, чем сумма первоначальных объемов⁴. Реомюр сделал это открытие, изготавливая спирт определенной концентрации для своих термометров. Когда он смешал 50 единиц объема воды с 50 единицами чистого спирта, то он получил не 100 единиц разведенного спирта, а только 98. Таким образом уменьшение объема равнялось здесь $\frac{1}{50}$.

Реомюр распространил это исследование на самые разнообразные жидкости. При смешении льняного масла и скипидара не наблюдалось уменьшения объема. То же самое оказалось и в случае смеси молока с водою. Нооборот, при смешении воды и серной

¹ Fahrenheit, Experimente und Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im Vakuum. Ostwalds Klassiker, № 57, стр. 6 и сл.

² Реомюр, Правила для изготовления термометров со сравнимыми шкалами, 1730, 1731, переведан А. Эттингеном в 57-м томе оствальдовской серии классиков точного знания.

Реомюр (1683—1757) опубликовал многочисленные исследования по вопросам физики, зоологии и ботаники.

³ Ostwalds Klassiker, № 57, стр. 49.

⁴ В томе 57 оствальдовской серии классиков точного знания (стр. 100 и сл.) дан перевод соответствующего мемуара Реомюра от 1733 г. Он носит следующее заглавие: „Об объеме смесей жидкостей“.

кислоты уменьшение объема было „может быть, наибольшим, какого можно вообще достигнуть“. Действительно, от смешения 40 единиц объема воды и 10 единиц серной кислоты получилось 48 единиц объема смеси. Таким образом уменьшение объема равнялось здесь $\frac{1}{25}$.

Реомюр обратил также внимание на выделение теплоты, идущее параллельно с уменьшением объема. Что касается самого явления уменьшения объема, то он объяснял его соображениями молекулярного порядка. Он допускал именно, что между молекулами тел имеются поры, которые могут быть заполнены молекулами другого вещества. Свою теорию он пояснял следующим сравнением: „Если, — говорил Реомюр, — смешать известный объем свинцовых пуль с равновеликим объемом очень маленькой свинцовой дроби, то в результате мы получим не два объема. Действительно, зерна дроби займут промежутки между пулями, и чем меньше дробинки по сравнению с последними, тем меньше будет объем смеси“.

В настоящее время в науке принят термометр Цельсия, который и в практической жизни все более вытесняет термометры других систем. В термометре Цельсия основное расстояние между строго установленными неподвижными точками разделено на 100° . Цельсий погрузил цилиндр своего термометра в вязкий снег и отметил точно положение столбика ртути. Затем он наблюдал положение ртути в кипящей воде при высоте барометра в 25 дюймов и 3 линии. Расстояние между этими двумя точками он разделил на 100 равных частей, продолжив это деление по обе стороны от неподвижных точек¹. Обозначение точки замерзания через 0, а точки кипения через 100° принадлежит, вероятно, Линнею, который в теплицах ботанического сада в Упсале пользовался термометром Цельсия².

В то время как Реомюр отдавал предпочтение в качестве жидкости для термометра спирту и полагал, что градусы температуры пропорциональны увеличению объема этой жидкости, Цельсий, как и Фаренгейт в своих позднейших опытах, пользовался ртутью, позволяющей измерять более высокие температуры. Цельсий сделал также наблюдение, что точка кипения воды остается постоянной лишь при неизменных показаниях барометра. При изготовлении своих термометров он поступал следующим образом: он погружал шарик термометра в тающий снег и отмечал положение столбика ртути. Чтобы определить вторую основную точку, он погружал этот шарик в кипящую воду, стараясь сделать это при средней высоте барометра. Расстояние между полученными таким образом точками

¹ Abhandlungen der schwedischen Akademie, т. 4, 1742.

² В. Börnstein, Zur Geschichte der hundertteiligen Thermometerskala, „Physik. Zeitschrift“, т. 8, № 23.

См. также заметку Ромпеля (Rompel) в 53-м томе (1907 г.) журнала „Natur und Offenbarung“, стр. 749. Можно считать установленным Ромпелем, что в 1745 г. Линней пользовался в Упсале термометром, точка замерзания которого была обозначена через 0° , а точка кипения через 100° .

он делил на 100 равных частей или градусов. Затем это градусное деление продолжалось вверх и вниз от обеих основных точек ¹.

В эту же эпоху были изобретены воздушный термометр и пиrometer, так что методы измерения теплового состояния тел нашли себе известное завершение.

Как мы знаем, уже аппарат, которым пользовался Галилей для измерения теплоты, основывался на изменении объема воздуха под влиянием колебаний температуры. Однако метод этот стал практически пригодным только тогда, когда удалось исключить или же учесть влияние колебаний воздушного давления. Этой проблемой особенно успешно занимались французы

Амонтон (Amonton) (1663—1705), немец Ламбет (Lambert) (1720—1777) и впоследствии Реньо (Regnault) и Магнус (Magnus).

Воздушный термометр Амонтона состоит из шара примерно в 8 см диаметром. Шар этот заполнен отчасти воздухом, отчасти ртутью и связан с узкой длиною в метр трубкой. Диаметры шара и трубки находятся в таком отношении между собой (примерно 60:1), что незначительное увеличение объема воздуха в шаре влечет за собой значительный подъем столбика ртути в узкой трубке. Таким образом в воздушном термометре температура измеряется не увеличением объема, по существу остающегося неизменным, а изменением упругости заключенного в шаре воздуха. При своих измерениях Амон-

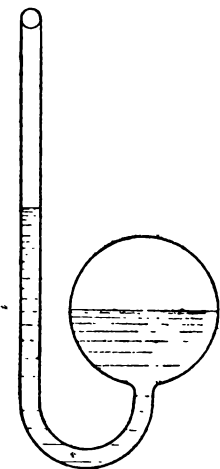


Рис. 11 Воздушный термометр Амонтона.

тон учитывал и высоту барометра. Далее, так как для измерения температуры он пользовался упругостью воздуха, то он естественно должен был прийти к мысли рассматривать как низшую степень тепла то состояние воздуха, при котором упругость его равна нулю ². Если начать отсчитывать температуру от этого абсолютного нуля, то, как вычислил с достаточной точностью Амонтон, сильнейший холод в Париже относится к сильнейшей жаре в нем, как 5:6.

Ламберт тоже пользовался для определения температур упругостью воздуха. Основными точками своего воздушного термометра он взял точку таяния льда и точку кипения воды. Приняв для точки таяния льда упругость воздуха равной 1000, он получил для точки кипения — в хорошем согласии с позднейшими измерениями

¹ Сам Цельсий обозначал точку кипения через 0°, точку замерзания через 100°. Андерс Цельсий (1701—1744) был профессором астрономом в Упсале. Его работа о термометре появилась в 1742 г. Она перепечатана в 57-м томе оствальдовской серии классиков точного знания (Lpz., W. Engelmann, 1894).

² Mémoires de l'Académie, Paris 1703, p. 50 и сл. См. также очерк Герлянда (Gerland) в „Beiträge zur Geschichte der Chemie“, herausgegeben von P. Diergart, 1909, стр. 350—360; Ernst Gerland, Die Entdeckung der Gasgesetze und des absoluten Nulpunktes der Temperatur durch Boyle und Amontons.

Гей-Люссака — величину упругости в 1375, откуда следовало, что коэффициент расширения воздуха равняется $0,375^1$.

Попытки измерить температуры более высокие, чем это позволяют обычные термометры, дали начало пирометрам и пирометрии. Уже в 1725 г. Мушенбрэк пытался использовать для этой цели расширение металлов. Он клал на станок металлический стержень, один конец которого был соединен со станком, между тем как другой конец упирался в зубчатую рейку. При нагревании эта рейка перемещалась вследствие расширения металлического стержня. Рейка в свою очередь действовала на зубчатое колесо, на котором была укреплена стрелка, позволявшая отсчитывать величину расширения стержня, а следовательно, и степень теплоты².

В 1782 г. Веджвуд (Wedgwood) рекомендовал пирометр, основывавшийся на свойстве глины сжиматься от жары и не расширяться обратно при следующем затем охлаждении³.

Особенное значение в этой области имело появившееся в 1779 г. сочинение вышеназванного Ламберта, носившее заглавие: „Пирометрия или о мере огня и теплоты“ („Pyrometrie oder vom Mass des Feuers und der Wärme“). Как уже сказано выше, Ламберт пользовался при своих измерениях воздушным термометром. Расширение воздуха на 0,001 того объема, который он занимал при температуре тающего снега, соответствовало 1° его инструмента. Точка кипения воды равнялась 375° , так как объем воздуха при нагревании его от температуры замерзания воды до температуры кипения расширяется по данным Ламберта с 1 000 до 1 375, т. е. на 0,375 своей первоначальной величины.

РАЗВИТИЕ ГИГРОМЕТРИИ

В это же время было установлено, в особенности работами Ламберта и де-Соссюра (Saussure), что способность воздуха впитывать влагу изменяется в зависимости от его теплового состояния. Уже у Николая Кузанского и Леонардо да-Винчи мы встретились с мыслью определить влажность воздуха⁴. Оба они заметили, что сухая шерсть впитывает влагу из воздуха. Впоследствии стали пользоваться в качестве гигроскопического вещества серной кислотой, находившейся в помещенном на весах сосуде (Гульд, 1683)⁵. В 1772 г. Ламберт стал пользоваться струной из кишки, верхний

¹ Согласно Ламберту абсолютный нуль определяется тем, что при нем воздух не занимает почти никакого объема, так как объем его уменьшается равномерно с уменьшением температуры. По данным Ламберта это состояние должно наступить при охлаждении до $-270,3^\circ$ по Цельсию. Таким образом разница по сравнению с величиной, принимаемой в настоящее время (-273°), ничтожна. Согласно данным Амонтона абсолютный нуль температуры получается при $-293,5^\circ$ по Цельсию.

² См. в книге Gerland u. Trau Müller, Geschichte der phys. Experimentierkunst, изображенный на рис. 312 и описанный там инструмент.

³ „Phil. Transactions“, т. 72.

⁴ См. т. I.

⁵ „Phil. Transactions“, 1683, 84, № 156, стр. 386.

конец которой был закреплен, а нижний снабжен двигавшейся по делению стрелкой. Но только в волосном гигрометре Соссюра были доведены до успешного конца попытки измерить влажность воздуха с помощью гигроскопических веществ.

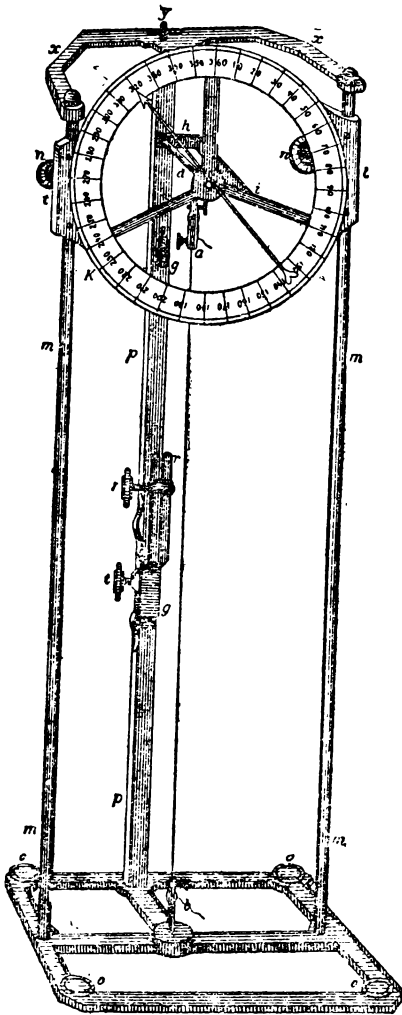


Рис. 12. Волосной гигрометр Соссюра.

Орас-Бенедикт де-Соссюр, прославившийся своим геологическим исследованием Альп и восхождениями на Монблан и на Монтерозу, заметил, что когда волос становится влажным, то он удлиняется, когда же он высыхает, то сокращается. При удалении из волоса жира изменение длины его было в четыре или в пять раз больше, чем то, которое наблюдалось у жирного волоса. Это наблюдение послужило для Соссюра толчком к изготовлению изображенного на рис. 12 аппарата. Устройство этого прибора таково: нижний конец волоса *ab* закреплен в зажиме *b*, снабженном винтом; верхний конец волоса закреплен в зажиме *a*. Верхний зажим соединен с горизонтальным валом *d*, снабженным циферблатом и противовесом *g*. Этот противовес несколько тяжелее, чем зажим *a*, для того чтобы натяжение волоса было невелико. Противовес прикреплен на шелковой нити, навитой на вал и приводящей его в движение.

Чтобы градуировать свой инструмент, Соссюр прежде всего определил точку максимальной влажности. С этой целью аппарат помещался под колоколом, стоявшим на тарелке с водой, пока воздух под колоколом не оказался насыщенным влагой. Для определения же максимальной сухости Соссюр ввел под колокол сильно всасывавшую воду щелочь. Через некоторое время стрелка циферблата заняла неизменное положение, соответствующее вполне сухому воздуху. Затем промежуток между полученными таким образом двумя неизменными точками был разделен на 100 равных частей.

Гигрометр Соссюра сохранился до нашего времени в качестве одного из важнейших метеорологических инструментов. Сообщение

об этом инструменте и свою теорию гигрометра Соссюр опубликовал в 1763 г. Работа Соссюра о гигрометрии, которую Кювье считал одним из лучших достижений XVIII в., появилась также в немецком переводе¹.

ВЗГЛЯДЫ НА ПРИРОДУ ТЕПЛОТЫ

Большинство исследователей XVIII в. приписывали теплоте, как и свету, материальную природу, — концепция, которую как будто подтверждали исследования Блека (Black)² и Вильке (Wilke)³. Действительно, эти исследователи заметили, что при таянии льда теряется для наших чувств некоторое количество тепла, которое, как будто, соединяется со льдом при его превращении в воду. В связи с этим стали впоследствии говорить о связанной (скрытой) и свободной теплоте, употребляя таким образом термины, которые способствовали сохранению ошибочных взглядов на природу теплоты и мешали возникновению новых, более правильных воззрений. Но уже в середине XVIII в. математики Даниил Бернулли (Bernoulli) и Эйлер (Euler), а в особенности химик Ломоносов⁴ выступили с утверждением, что теплота представляет собою внутреннее движение материи. Правда, этого внутреннего движения нельзя видеть из-за ничтожной величины составляющих тела частиц, но оно обнаруживается в целом ряде явлений. Ломоносов предполагал, что теплота заключается во вращательном движении этих телец или частиц. Наинизшая степень теплоты соответствует, по его утверждению, абсолютному прекращению всякого движения. Высшей степени теплоты нельзя себе представить, так как не существует никаких границ для скорости движения частиц. Ломоносов, таким образом, совершенно правильно предвидел дальнейшее развитие идей о сущности теплоты⁵. В середине же XVIII в. были сделаны первые наблюдения над теплотой плавления. Один французский исследователь⁶ заморозил воду в сосуде, в который он предварительно поместил термометр. Нагревая затем сосуд, он заметил, что температура стала подниматься, пока не начал таять лед. С этого момента столбик ртути термометра оставался на одном

¹ De Saussure, Versuch über die Hygrometrie, herausgegeben von A. J. von Oettingen, т. 115 и 119, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Lpz. Verlag von W. Engelmann, 1900.

² Джозеф Блек, шотландец по происхождению (род. в 1728 г.), был профессором химии в Глазго, а впоследствии в Эдинбурге, где он умер 26 ноября 1799 г. В химических работах Блека содержится масса крайне важных для современного обоснования химии фактов. (Об этом см. в другом месте.)

³ Иоганн-Карл Вильке родился в 1732 г. в Визмаре (принадлежавшем тогда Швеции) и умер в 1796 г. в Стокгольме, где он был членом и секретарем Академии наук. О заслугах Вильке в области учения об электричестве мы уже говорили выше. Ему принадлежит первая карта магнитного склонения.

⁴ Meditationes de caloris et frigoris causa („Труды Петербургской академии наук“ от 1747 и 1748 гг.).

⁵ Остальдовская серия классиков точного знания, № 178, стр. 19 и сл.

⁶ Делюк (Deluc) (1754).

месте, пока в сосуде имелся еще тлеющий лед. Доставленная в это время сосуду теплота была поглощена, связана, скрыта.

Аналогичные результаты получились при смешивании льда с водой. Производя эти опыты, исследователи предполагали, что при смешении различных веществ температуры их должны выравняться на уровне, зависящем только от количества смешиваемых жидкостей. В этом случае определение температуры смеси сводилось бы к весьма простой арифметической задаче¹. Так, например, беря простейший случай при смешивании равных количеств жидкостей, должна была бы получиться средняя температура.

Вопрос этот был выяснен Блеком, исследования которого над таянием льда имели исключительно важное значение для учения о теплоте². Блек благодаря своим изысканиям над увеличением веса металлов при обжиге является подобно Майову предшественником Лавуазье. Независимо от Вильке он открыл удельную теплоемкость и скрытую теплоту для воды и водяного пара.

Основоположный опыт Блека заключался в следующем: к массе льда, имевшей 32° F, он прибавил равновеликое количество воды с температурой в 172° F. Согласно вышеупомянутому правилу смешения можно было ожидать для смеси температуру в 102° F. В действительности же температура смеси равнялась, как и температура льда, 32° F, но зато весь лед превратился в воду.

„Тающий лед, — комментировал Блек свой опыт, — поглощает очень много теплоты, но действие этой теплоты сводится лишь к тому, что она превращает лед в воду, которая несколько не теплее, чем лед, из которого она образовалась“ Блек указал далее на тот факт, что и при кипении воды расходуется определенное количество теплоты. Блек же стал употреблять для обозначения этих явлений выражение „скрытая теплота“.

Чтобы оценить все значение работ Блека для понимания тепловых явлений, надо принять во внимание, что до Блека думали, будто для превращения в жидкое состояние нагретого до точки плавления вещества требуется лишь ничтожное количество теплоты. Блек установил также, что при затвердевании жидкости выделяется определенное количество теплоты. Доказательство этого он видел прежде всего в наблюдаемых у переохлажденных жидкостей явлениях. Блек указал, что, например, охлажденная до —4° вода при встряхивании внезапно частично отвердевает, а одновременно с этим температура всей массы поднимается до 0°. Только Блек мог удовлетворительно объяснить это явление. Факты этого рода служили вместе с тем опорой для его теории. Если замерзание переохлажденной воды началось, то, как весьма правильно замечает Блек, ее замерзает ровно столько, сколько требуется, чтобы освободившаяся

¹ Если мы обозначим количества жидкостей через m и m' , а температуры их через t и t' , то при сделанном предположении температура смеси будет равна

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}.$$

при этом теплота подняла температуру всей массы до 0° . Когда достигнуто это состояние равновесия, то дальнейший подъем температуры прекращается.

Свою теорию о скрытой теплоте плавления, установленную им первоначально для воды, Блек перенес затем на тепловые явления, наблюдаемые у растворов и у охлаждаемых смесей. Согласно воззрениям Блека составные части какой-нибудь охлаждающей смеси заимствуют требующееся для ее оживания количество теплоты из собственного теплового запаса, чем вызывается значительное понижение температуры смеси.

Блек нашел, что теплота плавления для воды равняется 77—78 тепловым единицам. Это определение было довольно точно, ибо в действительности она равняется 80 кал. Он установил это различными способами. Так, например, он поставил два совершенно равных сосуда с равными количествами воды и льда при 0° в помещении, температура которого равнялась 20° . За промежуток времени, в течение которого вода согрелась на 4° , во втором сосуде растаяла $\frac{1}{20}$ льда, причем температура его осталась неизменной. Так как, очевидно, оба сосуда получили одинаковое количество теплоты, то отсюда следовало, что если бы доставить второму сосуду в 20 раз большее количество теплоты, то в нем бы растаял весь лед. Это количество теплоты, как показывает опыт с первым сосудом, могло бы нагреть равное количество воды от 0 до 80° .

Блек стал первый пользоваться для определения удельной теплоемкости методом таяния льда. Он помещал нагретое до определенной температуры вещество в углубление, сделанное в глыбе льда, закрывал это углубление и взвешивал затем получившееся от таяния льда количество воды.

Замечательные исследования Блека над испарением привели его к результатам, аналогичным тем, к которым он пришел в своих опытах над таянием. Опыты Блека, как и опыты его друга Уатта, показали, что существует не только вполне определенная теплота плавления, но столь же определенная по своей величине теплота испарения. Блек установил, прежде всего, что если количество доставляемой теплоты постоянно, то количество испаряющейся воды пропорционально времени кипения. Допустим, что для доведения до кипения 1 кг воды при 0° , помещенной над постоянным огнем, требуется определенное время. В таком случае для испарения всей этой массы воды (при том же неизменном огне) потребовалось бы в четыре с половиной раза больше времени, иначе говоря, потребовалось бы 450 единиц теплоты. Таково грубое, но по своим результатам не слишком далеко уклоняющееся от истины определение теплоты испарения Блеком. Согласно позднейшим, более точным исследованиям теплота испарения равняется 536 кал. Получение Блеком меньшей величины объясняется тем, что в процессе испарения вода начинает занимать все большую по отношению к своей массе поверхность и вследствие этого быстрее испаряется.

Опыты Блека над теплотой испарения были в это самое время дополнены наблюдениями одного исследователя ¹, показавшего, что, если испаряющимся жидкостям не доставляется извне достаточно быстро требующаяся для их испарения теплота, то они ее заимствуют из своего собственного теплового запаса. Это обнаружилось убедительнейшим образом при одном опыте с воздушным насосом. Под колокол воздушного насоса поместили сосуд с эфиром. При этом было замечено, что висевшие случайно на стенках сосуда водяные капли превратились в лед.

Теперь возникал вопрос, выделяется ли при сжижении пара целиком та теплота, которая переходит в скрытое состояние при испарении, подобно тому как при замерзании жидкостей выделяется их скрытая теплота плавления. Чтобы ответить на этот вопрос, Блек пропускал определенное количество водяного пара через имевший форму змеевика охладитель, в котором находилось в 100 раз большее количество воды. При сжижении пара температура этой воды поднялась на $5,25^{\circ}\text{C}$. Отсюда следовало, что выделяющаяся при сжижении пара скрытая теплота парообразования равняется 525 тепловым единицам. Уатт подтвердил этот результат; Лавуазье же, определивший эту величину по методу таяния льда, нашел несколько большее значение (550). Впоследствии Реньо установил, что при давлении пара в 760 мм скрытая теплота парообразования равняется 536 кал.

Блек умел связывать свои опыты с наблюдениями повседневной жизни, благодаря чему доказательная сила их делалась еще убедительнее. Так, он замечает, что теплота пара должна быть очень велика, ибо струя пара, едва увлажняющая руку, покрывает всю кожу пузырьками от ожога, между тем как гораздо большее количество кипящей воды не может сделать этого. Он указывает также, что при дистиллировке спирта требуются значительные усилия и издержки, для того чтобы снабжать охладитель достаточным количеством холодной воды.

Сравнивая обе теории теплоты — одну, видевшую в ней особое движение материи, и другую, видевшую в ней особое вещество, — Блек пришел к убеждению, что последняя лучше объясняет наблюдаемые явления. Однако все попытки определить вес гипотетического теплорода оказались столь же безуспешными ², как и старания определить вес электрической жидкости. Несмотря на это, были физики, которым допущение одного единственного вещества для объяснения тепловых явлений казалось еще недостаточным. Подобно тому как признавали существование двух противоположных электрических жидкостей, так, по мнению этих ученых наряду с теплоро-

¹ В. Куллена (W. Cullen) (1710—1790), профессора химии в Глазго. Основположные опыты Куллена о теплоте испарения (1755) опубликованы в „Сообщениях Единбургского общества“ (т. 2) под заглавием: On the cold produced by evaporating fluids and of some other means of producing cold. См. также E. Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch dargestellt, 1896, стр. 177.

² J. C. Fischer, Geschichte der Physik (1801—1808), V, 4.

дом должен существовать еще особый хладород, находящийся, например, в солях, которыми пользуются в охладительных смесях. Уже Мариотт¹ выступил против этого взгляда. В холоде он видел только меньшую степень теплоты. При помощи ряда опытов Мариотт установил также отличие лучистой теплоты от теплоты, передающейся путем теплопроводности. Он показал, что лучистая теплота может проходить через воздух и другие вещества, не изменяя заметным образом их температуру. Для этого Мариотт взял чечевицу, состоявшую из льда, и с ее помощью зажег порох. Уже тогда ученые пришли к убеждению, что тепловые лучи распространяются, как и световые, с огромной скоростью. Француз Пикте (Pictet)² поместил в фокусе металлического вогнутого зеркала нагретый, но не светящийся металлический шар; в фокусе другого, расположенного против первого вогнутого зеркала находился воздушный термометр. Между обоими зеркалами, отстоявшими друг от друга на 25 м, помещали экран. Лишь только экран удаляли, как в то же самое мгновение начинала подниматься жидкость термометра. Этот эксперимент, несколько видоизмененный (вместо воздушного термометра употребляют пироксилин), еще и поныне является одним из излюбленных опытов, демонстрируемых на лекциях.

На основании своего опыта с вогнутыми зеркалами Пикте установил различие между лучистой теплотой и теплотой, распространяющейся путем теплопроводности. Последняя перемещается медленно от частицы к частице, между тем как лучистая теплота распространяется прямолинейно и с огромной скоростью, может быть такой же, как скорость света³. Так как воздух очень прозрачен для лучистой теплоты, то этим легко объясняется низкая температура, наблюдаемая на вершинах гор⁴.

ГОРЕНИЕ КАК ВАЖНЕЙШИЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ

Все эти достижения в области учения о теплоте имели своим результатом то, что ученые с удвоенным интересом обратились к исследованию химических процессов как одного из главных источников теплоты, а также к изучению влияния теплоты на ход химических процессов. Вместе с этим стали лучше понимать сущность и происхождение животной теплоты. Источник последней искали до сих пор в трении циркулирующей в сосудах крови, между тем как в дыхании—в полном противоречии, как мы теперь знаем, с фактами—видели средство для охлаждения крови. Шталь (Stahl), основатель теории флогистона, и Гельс (Hales), с великими заслу-

¹ Mariotte, Essai du chaud et du froid, 1679.

² М. А. Пикте (1752—1825) был профессором и президентом Академии наук в Женеве.

³ Pictet, Essai sur le feu, Genève 1790, стр. 83.

⁴ На это было указано Блеском. См. также E. Mach, „Einfache Versuche über strahlende Wärme“ („Zeitschr. für den physikal. und chemische Unterricht“, VII, 3).

гами которого в области физиологии мы познакомимся в дальнейшем, стали теперь объяснять животную теплоту как результат дыхания. Задачей кровообращения было сообщить всему телу теплоту, порождавшуюся, по их мнению, в легких. Таким образом впервые был установлен параллелизм между процессом дыхания и горением, хотя лишь эпохе Лавуазье суждено было объяснить в полной мере сущность обоих явлений. И в остальных отношениях достижения химии, начиная с XVIII в., столь тесно связаны с великим открытием Лавуазье, что мы предпочитаем рассмотреть проблемы горения и дыхания в связи с химическими воззрениями последнего.

Лавуазье сделал также очень многое для определения теплоты сгорания и удельной теплоемкости. Вместе с Лапласом он придумал очень целесообразный ледяной калориметр¹, с которым оба ученых предприняли ряд ценных изысканий. Прежде всего они дают следующее весьма отчетливое определение удельной теплоемкости: „Если взять два вещества одинаковой массы и одинаковой температуры, то количество теплоты, требующееся для повышения их температуры на 1° , не будет одинаковым для обоих тел. Если принять за единицу теплоты то количество ее, которое повышает температуру единицы веса воды на 1° , то все остальные количества теплоты, относящиеся к другим веществам, могут быть выражены в долях этой единицы. Под выражением удельная теплоемкость мы будем понимать это отношение количеств теплоты“.

В своих исследованиях Лаплас и Лавуазье пользовались блековским методом таяния льда. Основная идея этого метода заключается в следующем: внутри полого шара из льда при 0° помещается тело, нагретое до некоторой температуры. Внешняя теплота не может проникнуть внутрь этого шара и в то же время теплота помещенного внутри него тела не может выходить наружу. Действие ее будет ограничиваться внутренней поверхностью ледяной глыбы, которая будет таять до тех пор, пока температура тела не понизится до уровня температуры льда. Поэтому для определения удельной теплоемкости какого-нибудь тела надо его нагреть до некоторой температуры, поместить затем внутрь ледяного шара и оставить его там до тех пор, пока его температура не понизится до 0° . Затем надо собрать всю воду, образовавшуюся от таяния льда под влиянием потери телом теплоты. Частное от деления этого количества воды на произведение из массы тела и числа градусов его первоначальной температуры будет пропорционально его удельной теплоемкости².

¹ Работы Лавуазье и Лапласа о теплоте были опубликованы в „Mémoires de l'Académie“ и перепечатаны затем во втором томе полного собрания сочинений Лавуазье. Важнейшие результаты их собраны в 40-м томе оствальдовской серии классиков точного знания. Zwei Abhandlungen über die Wärme von A. L. Lavoisier und P. S. de Laplace, herausgegeben von I. Rosenthal, Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1892.

² В пояснение сказанного приведем следующий пример: для превращения 1 кг льда при 0° в 1 кг воды при 0° требуется 80 тепловых единиц (калорий). Пусть тело, удельную теплоемкость которого мы желаем определить, весит 2 кг

При помощи своего прибора Лавуазье и Лаплас измерили также количество теплоты, выделяющейся при химических процессах. Чтобы определить количество теплоты, образующейся при соединении нескольких тел, все эти тела вместе с сосудом, в котором они были заключены, были охлаждены до 0° . Затем смесь эта была немедленно помещена внутрь ледяного шара и оставлена там

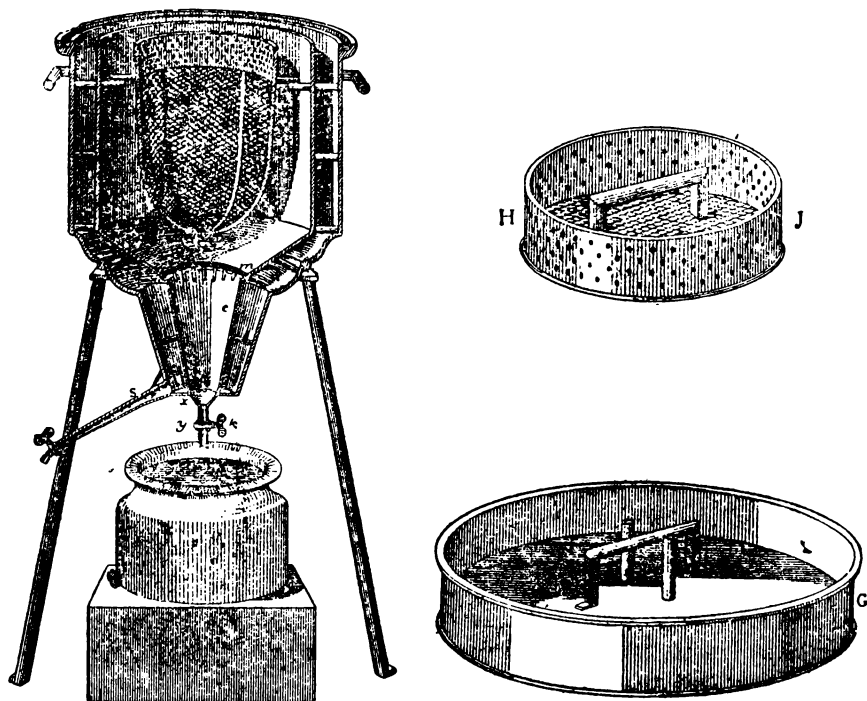


Рис. 13. Ледяной калориметр Лавуазье.

до тех пор, пока температура ее не стала снова равна 0° . Получающееся при этом опыте количество воды и служило мерой образующейся при химическом соединении теплоты. Не больше трудностей представило определение количества теплоты, образующейся при горении и при дыхании. С этой целью сжигали тела внутри ледяного шара и заставляли животных дышать внутри него. Но так

и имеет температуру 10° , а количество растаявшей воды пусть равняется 0,1 кг. Отсюда следует, что 2 кг, охлажденные от 10° до 0° , потеряли 0,1 · 80 тепловых единиц. Чтобы нагреть их от 0° до 10° , требуется доставить им такое же количество тепла. Поэтому, чтобы нагреть 1 кг до 10° , потребовались бы 4 калории $\left(\frac{0,1 \cdot 80}{2}\right)$, а чтобы нагреть 1 кг от 0° до 1° , потребовалось бы только 0,4 калории $\left(\frac{0,1 \cdot 80}{2 \cdot 10}\right)$.

как при этих опытах необходим приток свежего воздуха, то было установлено особое соединение между внутренностью шара и окружающей атмосферой. Так как введение свежего воздуха могло повлиять на результаты измерения, то приходилось производить эти опыты при температуре в 0° или же охлаждать до этой температуры вводимый внутрь шара воздух.

При производстве этих опытов ледяной шар был заменен особым прибором, вертикальный разрез которого дан на рис. 13. Все пустое пространство прибора разделено на три части. Внутренняя полость представляет собой проволочное переплетение. В эту полость помещают испытуемое тело. Верхнее отверстие ее может быть закрыто при помощи крышки *HJ*, изображенной отдельно на рис. 13. Вверху эта крышка открыта, дно же ее представляет собой проволочную сетку. В среднем пространстве *bbbb* калориметра помещают лед, назначение которого — окружать внутреннюю полость и таять под влиянием теплоты испытуемого тела. Лед этот помещается на решетке *mm*, под которой находится сито. Образовавшаяся от таяния льда вода течет через решетку и сито и попадает затем в конус *ccd* и трубку *xu*; под конец она собирается в сосуде *P*, находящемся под прибором. Что касается наружной полости *aaaa*, то в нее помещают лед, не пропускающий теплоту извне. Образовавшаяся от таяния этого льда вода вытекает через трубку *ST*. Весь прибор прикрывается крышкой *FG*.

При производстве опыта наполняют толченым льдом среднюю полость и ее крышку *HJ*, а также наружную полость и крышку *FG* всего прибора. Затем дают стекать воде от таяния льда в средней полости. После этого открывают прибор, чтобы поместить в него испытуемое тело, и немедленно же закрывают его. Затем ожидают, пока тело вполне охладится и из прибора вытечет вся образовавшаяся в нем вода. Воду эту взвешивают. Вес ее и дает точную меру выделенной телом теплоты.

Гораздо большие трудности представило для обоих исследователей определение удельной теплоемкости газов. Трудности эти, однако, их не остановили. Они пропускали определенное количество испытуемых газов через свой ледяной калориметр и определяли температуру их до входа в прибор и после выхода из него, а также определяли количество образовавшейся от таяния воды. Но полученные ими при этом результаты были еще весьма неточны¹.

В заключение приведем некоторые из найденных Лавуазье и Лапласом удельных теплоемкостей. Рядом в скобках даны современные значения их:

Обыкновенная вода . . . . .	. . . 1	(1)
Железо . . . . .	. . . 0,109	(0,113)
Ртуть . . . . .	. . . 0,029	(0,033)
Свинец . . . . .	. . . 0,028	(0,031)
Сера . . . . .	. . . 0,208	(0,202)

¹ Исследования эти были повторены впоследствии рядом физиков [„Ann. de chimie et physique“, № 85, стр. 72 (1813)]. Однако только Реньо (1840), учтя все входящие обстоятельства, пришел к более или менее удовлетворительным результатам.

Приведем также результаты некоторых опытов, служивших для определения теплоты сгорания:

Количества воды, образовавшейся от таяния льда при сгорании:

1 фунта фосфора	. 100 фунтов
1 „ угля от грушевого дерева	96
1 „ оливкового масла	148

В данном случае разница по сравнению с современными цифрами значительна. Так при сгорании 1 кг фосфора получается 5747 кал, и, значит, образуется только $\frac{5747}{80} = 71,8$ кг воды, между тем как по Лавуазье и Лапласу 1 единица фосфора должна давать при сгорании 100 единиц воды.

Лавуазье и Лапласу принадлежат также первые точные измерения коэффициентов расширения твердых тел. При своих опытах они пользовались подзорной трубой, которая приводилась во вращательное движение расширявшимися от нагревания телами. В качестве опоры для этих тел они брали каменные столбы, форма которых не изменяется заметным образом от действия теплоты.

ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ И ПониЖЕНИЕ ТОЧКИ ЗАМЕРЗАНИЯ

Основоположное значение в области учения о теплоте имели также исследования Блегда (Blagden) о законах переохлаждения и понижения температуры замерзания. Работы Блегда¹ по этому вопросу были опубликованы в 1788 г. В первой из этих работ приводится ряд важных опытов об охлаждении воды ниже точки ее замерзания. Блегда показал, что вода, точка замерзания которой равняется 32° F, при известных обстоятельствах превращается в лед только при 24° F и даже при 21° F. Переохлаждение наступало и тогда, когда к воде примешивали соли, которые уже сами по себе понижают точку замерзания. Раствор поваренной соли, точка замерзания которой равняется 28° F, был охлажден до 18,^c 5 и затвердел лишь при дальнейшем охлаждении его. Раствор селитры, точка замерзания которой равняется 27° F, мог быть переохлажден до 16°, т. е. на 11° ниже точки замерзания его. Замечательное явление переохлаждения обратило на себя внимание отдельных физиков еще до Блегда. Но ни один из них не изучил его так основательно, как он. Блегда тщательно исследовал условия переохлаждения и причину внезапного замерзания переохлажденной жидкости. Когда Блегда начинал тереть стеклянной палочкой внутреннюю стенку сосуда, в котором находилась переохлажденная вода, то жидкость, совершенно не реагируя на другие движения, замерзала. Поразительный эффект производил опыт, при котором прикасались к переохлажденной воде хотя бы самой крохотной

¹ Сер Чарльз Блегда (1748—1822) был врачом в английской армии и членом Королевского общества. Немецкий перевод его работ, сделанный А. Эттингером, вышел в оствальдовской серии классиков точного знания (№ 56).

льдинкой. Вода в этом случае немедленно замерзала, причем от места прикосновения льдинки начинали исходить ледяные кристаллики, пронизывавшие затем всю массу жидкости. Одновременно вся эта масса нагревалась до нормальной температуры замерзания воды¹.

На основании описанного опыта легко было объяснить и другое наблюдение, именно, что можно вернее добиться переохлаждения, прикрыв сосуд бумагой. Блегден предположил, что в морозную погоду в воздухе носятся микроскопические льдинки, падающие на охлаждающуюся воду и вызывающие замерзание ее. Если же жидкость защищена бумагой, то последняя задерживает эти частицы.

Было установлено далее, что прибавление солей и кислот тоже понижает точку замерзания жидкостей. Первое количественное исследование этого явления было сделано также Блегденом². В первом ряде своих опытов он изучал действие поваренной соли. Оказалось, что понижение точки замерзания пропорционально концентрации соляного раствора. Было предложено назвать этот закон законом Блегдена³.

В дальнейших опытах Блегден изучал действие селитры, нашатыря, глауберовой соли и пр. Во всех этих случаях температура понижения точки замерзания была пропорциональна концентрации раствора⁴. При прибавлении к воде кислот, щелочей или спирта Блегдену не удалось установить столь простого закона. Он высказал предположение, что прибавление равных частей этих жидкостей к воде понижает точку замерзания ее в геометрической прогрессии.

Исследования Блегдена по этому вопросу были первоначально совершенно забыты. На них обратили снова внимание лишь в новейшее время, когда в понижении точки замерзания жидкостей, вызываемом солями, а также индифферентными органическими веществами, увидели средство для определения молекулярного веса⁵. Блегден пророчески заметил, что не следует считать исследования, подобные его работе, маловажными, ибо таким путем можно прийти к познанию внутреннего строения тел, из которого вытекают их свойства.

¹ Последнее наблюдение сделал уже Фаренгейт. См. выше, стр. 50.

² Ostvalds Klassiker, № 56, стр. 19 и сл.

³ Ostvalds Klassiker, № 56, стр. 49.

⁴ Ostvalds Klassiker, № 56, стр. 32.

⁵ См. в т. 4 об исследованиях Рауля (Raoult), приведших его в 1887 г. к установлению закона замерзания растворов.



ОПИСАТЕЛЬНОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ ПРИ ГОСПОДСТВЕ ИСКУССТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

До сих пор мы говорили лишь о великих достижениях физики во второй половине XVIII в. В ближайших главах мы покажем, как развивались и влияли взаимно друг на друга остальные отрасли знания. При этом выступает особенно ярко все растущее значение для других наук физических теорий и особенно физических методов. Физика становится общей связующей все науки дисциплиной. Благодаря распространению ее количественных методов на область химических превращений химия приобрела совершенно новый облик. Одновременно с последней становится на новые основы и минералогия. Физические методы стали применять и к исследованиям явлений жизни. Хотя зоологи и ботаники XVIII в. продолжали еще видеть свою главную задачу во внешнем описании животных и растений и в систематике их, но было уже немало исследований, посвященных изучению внутренней структуры и функций органов.

Благодаря тщательному изучению флоры и фауны Европы и прочих частей света накопленный систематикой материал стал уже к началу XVIII в. почти необозримым. Обработка этого материала становилась все труднее, потому что не было еще создано ясной, основывающейся на строгой классификации номенклатуры, а все сделанные до того времени попытки построения всеохватывающей системы оказались неудачными. Обе эти задачи были решены шведским естествоиспытателем Линнеем (Linné).

КАРЛ ФОН-ЛИННЕЙ

Карл фон-Линней родился 23 мая 1707 г. в деревушке Рошулт в Смоланде. Его отец, священник, страстно любил садоводство и ботанику,—склонность, передавшаяся сыну. Когда молодой Линней стал посещать школу в соседнем городке, то школьным своим занятиям он предпочитал собирание трав. Это вызвало гнев отца Линнея, отдавшего его в обучение сапожнику. Однако один знакомый врач, поощрявший ботанические склонности юноши, сумел смягчить отца. Линней получил разрешение заниматься медициной. Он слушал лекции сперва в Лундском университете, а затем в

Упсальском. Нуждаясь в деньгах, Линней вынужден был зарабатывать себе средства на пропитание уроками и перепиской. В Упсале им наконец заинтересовался профессор ботаники Рудбек (Rudbeck). Он предложил Линнею место смотрителя ботанического сада, а также поручил ему заменять его на лекциях. В 1732 г. Линней получил поручение исследовать самые северные провинции Швеции. По возвращении из путешествия в Лапландию, предпринятого летом 1732 г., он намеревался начать читать в Упсале лекции по ботанике. Однако завистники сумели помешать этому, указав на то, что он не имеет еще ученой степени. Так как тогда было в обычае приобретать докторскую степень за границей, то Линней отправился с этой целью в 1735 г. в Голландию. Там он познакомился с неким Клиффордом (Clifford), владельцем сада в Гаарлеме, сумевшим оценить советы и помощь Линнея в вопросах ботаники. В Голландии Линней издал в 1735 г. довольно обширную работу о клиффордовском саду, а также небольшое, составленное в виде таблиц сочинение под названием „Systema naturae“. Эта книжка, содержащая в себе плоды его размышлений над систематикой всех трех царств природы, впоследствии неоднократно переиздавалась, выросши при этом до размеров многотомного труда¹.

„Система природы“ Линнея не замедлила вызвать своей ясностью и прозрачностью всеобщее восхищение. Вся она была построена на принципе половых признаков растений. С этим принципом Линней, как он сам указывает, познакомился у английских исследователей, заимствовавших его в свою очередь у немецких ученых.

Вскоре после 1735 г. появились сочинения Линнея, в которых он излагал свои принципы определения и наименования растений². Он дал строгое определение с учетом всех существенных признаков почти 1000 видов. Линней предпринял путешествие в Англию и Францию — в Париже он был избран членом-корреспондентом Академии наук, — после чего он вернулся в Стокгольм, где был принят с большим почетом. Линней, посвятивший себя сперва врачебной деятельности, был назначен лейб-медиком короля и президентом Академии наук. В 1741 г. он переехал в соседнюю Упсалу, где в течение 20 лет работал неутомимо в качестве преподавателя и исследователя. Время это было периодом расцвета описательного естествознания. Ботанический сад Упсалы был обновлен в духе учения Линнея и соединен с естественно-историческим музеем. В 1746 г. Линней выпустил книгу по фауне Швеции, а через несколько лет „Всеобщую ботанику“³ — свое главное произведение по ботанике. В 1762 г. Линней получил дворянское звание. С тех

¹ „Systema naturae“. Первое издание 1735 г., содержащее всего 14 страничек, стало библиографической редкостью. 12-е издание обработано было Мюллером (Müller) в 8 томах. 13-е издание — Гмелиным (Gmelin) в 10 томах, Лейпциг 1788—1793. 13-е издание представляет собой последнее сочинение, в котором описаны все известные ко времени его выхода виды животных и растений. 10-е издание было переиздано Немецким зоологическим обществом (W. Engelmann, Lpz., 1894).

² „Fundamenta botanica“, 1736; „Critica botanica“, 1737.

³ „Philosophia botanica“.

КАРЛ ЛИННЕЙ
1707—1778

пор он называл себя фон-Линней, между тем как раньше его имя было Линнеус. Он умер 10 января 1778 г. ¹.

Линней не сделал великих открытий, которые дали бы позднейшим поколениям импульс для дальнейших исследований. Свою главную задачу он видел в систематической обработке всего накопленного его предшественниками в области описательного естествознания материала. Здесь он проделал большую работу, которая была необходима для дальнейшего прогресса науки. Не его вина, что его преемники переоценили значение системы и сочли важнейшей задачей науки включение в эту систему новоописанных форм.

В ботанике Линней завершил попытки ученых, начиная с Цезальпина, создать искусственную систему. Идеей о классификации растений по половым признакам он был обязан главным образом исследованиям немца Камерария ². Точно так же его двойственная номенклатура, т. е. составление видового названия из родового с присоединением к нему второго слова (например *Apetone pema-gosa*, *Canis vulpes* и т. д.), была заимствована у других ботаников, как, например, Юнгий и Рей.

Линнеевская классификация растений в основном такова:

А. ЦВЕТКОВЫЕ РАСТЕНИЯ

Аа. С одними только двуполыми цветками

аа. Со свободными тычинками

ааа. С тычинками неопределенной длины

1-й класс с 1 тычинк. . . Monandria ³	10-й класс с 10 тычинк. . . Decandria
2-й " " 2 " . . Diandria	11-й " " от 12 до 19 " } . . Dodecandria
3-й " " 3 " . . Triandria	
4-й " " 4 " . . Tetrandria	12-й класс с 20 или более
5-й " " 5 " . . Pentandria	околопестичными тычин-
6-й " " 6 " . . Hexandria	ками Icosandria
7-й " " 7 " . . Heptandria	13-й класс с 20 или более под-
8-й " " 8 " . . Octandria	пестичными тычинками. Polyandria
9-й " " 9 " . . Enneandria	

¹ Подробная биография Линнея была издана Т. М. Фризом (Стокгольм, 1903). На этой работе основывается более краткая биография, составленная Р. Е. Фризом к 200-летию рождения Линнея. Она появилась в „Ботанических ежегодниках“ Энглера (Engler) (1907, т. 1, стр. 1—54) и была также издана отдельно (в издательстве В. Энгельмана в Лейпциге).

Значение Линнея как естествоиспытателя и врача наиболее подробно изображено в коллективном труде Шведской академии наук, вышедшем тоже в связи с 200-летием рождения Линнея. В книге имеется шесть очерков, написанных разными авторами, в которых рассматриваются заслуги Линнея в области медицины, витомологии, геологии, минералогии, ботаники и зоологии позвоночных.

² См. т. II.

³ В переводе с латинского названия первых десяти классов означают: одно-, дву-, тре- и т. д. десятимужние, а 11-го класса — двенадцатимужние, 12-го класса — двадцатимужние, 13-го класса — многомужние. Многие из классов линнеевской системы, сохранившиеся вследствие своей пригодности для определения растений на-

авв. С тычинками, представляющими определенные различия в длине

- | | | | |
|---|------------------|---|----------------------------------|
| 14-й класс — растения с 4 тычинками, из которых 2 длиннее остальных | <i>Didynamia</i> | 6 тычинками, из которых 4 длиннее остальных, а 2, более короткие, расположены друг против друга . . | <i>Tetradynamia</i> ⁴ |
|---|------------------|---|----------------------------------|

ав. Со сросшимися нитями или со сросшимися пыльниками

- | | | | |
|--|--------------------|---|--------------------------------|
| 16-й класс — растения с нитями, сросшимися в один пучок | <i>Monadelphia</i> | в три или более пучков. <i>Polyadelphia</i> ² | |
| 17-й класс — растения, нити которых срослись в два пучка | <i>Diadelphia</i> | 19-й класс — растения, пыльники которых срослись между собой в трубку | <i>Syngenesia</i> ³ |
| 18-й класс — растения, нити которых срослись | | 20-й класс — растения, тычинки которых срослись со столбиками . | <i>Gynandria</i> ⁴ |

Ав. С раздельными ложами

- | | | | |
|--|-----------------|--|-------------------------------|
| 21-й класс — растения, мужские и женские цветы которых находятся на одном растении | <i>Monoecia</i> | растениях | <i>Dioecia</i> ⁵ |
| 22-й класс — мужские и женские цветы находятся на различных | | 23-й класс, — кроме двуполой цветков имеются еще на одном или нескольких растениях мужские или женские цветы либо те и другие вместе | <i>Polygamia</i> ⁶ |

Б. РАСТЕНИЯ, У КОТОРЫХ НЕ НАБЛЮДАЮТСЯ НИ ТЫЧИНКИ, НИ ПЕСТИКИ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ У ПРОЧИХ РАСТЕНИЙ СУЩЕСТВЕННЫМИ ЧАСТЯМИ ЦВЕТКА.

24-й класс *Cryptogamia* ⁷

ряду с единственной, признаваемой теперь в науке естественной системой, совпадают целиком или частично с семействами последней. Так, 12-й класс совпадает с миндалями растениями, яблоневыми и розами, а 13-й — с маковыми и лютиковыми.

¹ 14-й класс (двусильные) охватывает большинство губоцветных, 15-й класс (четырёхсильные) совпадает с семейством крестоцветных.

² 16, 17, 18-й классы — одно-, дву-, многобрачные. Иллюстрацией 16-го класса могут служить мелиссы, 18-го — зверобой.

³ Сро шиеся, получившие такое название потому, что пыльники растений этой группы срослись в трубку. 19-й класс совпадает с семейством сложноцветных.

⁴ Женомужные; сюда относятся орхидеи.

⁵ 21-й и 22-й классы — однодомные и двудомные. Для иллюстрации 21-го класса может служить сосна, 22-го — ива.

⁶ Многобрачные; сюда относятся различные виды клена.

⁷ Бесцветковые. Линней делил их на водоросли, грибы, мхи и папоротники. Для дальнейшего подразделения классов 1—23 на подгруппы, которые Линней называл отрядами, значение имели прежде всего число пестиков, характер плодов и расположение цветов.

Система Линнея наткнулась сперва на сопротивление. Одни вообще отрицали наличие пола у растений несмотря на самые бесспорные доказательства этого, другие же указывали на то, что „новая теория вызывает неприличные мысли“. Великий немецкий систематик Гледич (Gleditsch), создававший по поручению Берлинской академии наук тамошний ботанический сад, потратил немало сил на опровержение возражения, будто учение об оплодотворении растений безнравственно¹.

Последовательность, с которой Линней проводил свою систему, соединялась у него с универсальнейшим знанием туземных и чужих растений. Выпущенный им в 1753 г. обзор видов растений заключал 7300 номеров, а через 9 лет был увеличен еще на 1500 номеров. Хуже всего Линней изучил те растения, которые, как, например, зонтичные и тайнобрачные, приходилось ввиду ничтожной величины их органов исследовать с помощью увеличительных стекол.

Линней был мало склонен к физиологическому эксперименту и к применению микроскопа. Мы очень редко встречаемся у него со стремлением доискиваться причины явлений. Он довольствовался рациональным классифицированием их. Вообще весь XVIII в. не имел склонности к микроскопическому исследованию. Грю и Мальпиги не нашли последователей для своих великих исследований о внутренней структуре растений. Мало того, встречались даже авторитетные ученые, которые пытались опорочить полученные в области анатомии растений результаты как неверные и ошибочные².

Манера Линнея довольствоваться логическим расчленением явлений не обращаясь к самой природе часто напоминает Аристотеля. Линней отлично знал, что его классификация имеет прежде всего практическое значение и не соответствует вовсе естественной группировке растений. Впоследствии его ученики, повидимому, совершенно забыли это и стали рассматривать созданную Линнеем систему как венец всего естествознания.

¹ Один петербургский ботаник, которого сам Линней отчитал в одном написанном по-латыни письме, перепечатанном впервые в „Mittellungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften“ (1907, стр. 25), писал следующее:

„Бог никогда не допустил бы в растительном царстве такого безнравственного факта, как то, что несколько мужей (тычинок) имеют одну жену (пестик). Не следует преподносить учащейся молодежи подобной нецеломудренной системы“.

Взгляд этот, к которому присоединились и другие ботаники, характерен для многих охранителей нравственности. „Я надеялся,—писал Линней в упомянутом письме,—что для чистого все чисто. Я не буду защищаться, а предоставляю дело суду потомства“.

² См. например, Fontenelle, Histoire de l'Academie, 1711, стр. 43. Исключением являлся немецкий философ и физик Христиан Вольф, занимавшийся анатомическим и физическим исследованием внутренней структуры растений, а также вопросами физиологии питания. Но полученные Вольфом результаты значительно уступали результатам работ Стефана Гельса. См. следующую главу.

ПЕРЕХОД ОТ ИСКУССТВЕННОЙ СИСТЕМЫ К ЕСТЕСТВЕННОЙ

В позднейшие годы Линней стал уделять внимание и естественной системе. Уже в своей „философии ботаники“¹ он требовал „тщательно отыскивать фрагменты естественного метода“. Это альфа и омега того, к чему следует стремиться в ботанике, ибо природа не делает скачков. Мало того, еще раньше, в 1738 г.², Линней выдвинул в качестве основного принципа естественной системы требование использовать систематически все части растения, но в особенности плод, семя, положение зародыша и т. д. Надо далее признать, что Линней связывал со словами „естественное родство“ более отчетливое представление, чем большинство его предшественников. Хотя понятие это имело у Линнея столь же мало реальное значение, как и у прочих систематиков XVIII в., но все же его концепция значительно ближе к современной теории происхождения видов. В то время как большинство исследователей на основании принципа, что природа не делает скачков, приходили к тому выводу, что органическое творение представляет собой один единственный восходящий ряд, Линней представлял себе родство форм в виде многопетельной сети. „Все растения, — говорит он, — обнаруживают всестороннее родство“.

Линней составил сам список тех групп, которые он считал естественными. Первая попытка перейти от установления подобных групп к систематическому расчленению всего растительного царства была сделана французами. Наоборот, шведские, немецкие и английские ботаники продолжали упорно идти по проложенному Линнеем пути и видели венец своих устремлений в познании возможно большего числа видов. Только после установления естественной системы обоими Жюссье (Jussieu) и Декандолем (Decandolle) стал возможным дальнейший прогресс науки.

Деятельность Линнея в области зоологии, как и в области ботаники, носила почти исключительно описательный и систематизаторский характер. Однако его система животного царства значительно больше соответствовала естественному родству, чем его классификация растений. Но классификация низших животных, внутреннее строение которых было тщательно изучено лишь в следующую эпоху, основывалась еще на чисто поверхностных сходствах. Все животное царство распадалось у Линнея на шесть классов, из которых в настоящее время сохранили свое значение только классы млекопитающих и птиц. Земноводные были еще соединены с пресмыкающимися в одну группу. Четвертый класс обнимал рыб. В пятый класс входили насекомые. Они распапались на отряды, существующие еще и в классификации нашего времени. Что касается последнего класса, класса червей, то в него входило все то, чего Линней не мог поместить где-либо в другом месте. Здесь мы встречаем, например, мягкотелых вместе с инфузориями, кишечно-

¹ „Philosophia botanica“, 1751, стр. 27.

² „Classes plantarum“, стр. 487.

червей наряду с зоофитами. Линней еще не совсем ясно представлял себе животный характер последних. Он называл их растениями, цветки которых носят животный характер.

Его попытка поставить человека как особый род во главу всей системы и объединить его вместе с высшими обезьянами в один отряд приматов вызвала возражения с разных сторон. Следует, однако, признать, что именно эта попытка положила начало естественной истории человека как особой отрасли знания, так что Blumenbach (Blumenbach), основывая современную антропологию, следовал лишь по стопам Линнея.

Особенно важное значение для систематики имело строгое проведение Линнеем двойной номенклатуры. Вместо того чтобы характеризовать новооткрытые формы многословными определениями, каждый вид получил теперь два заимствованных из латинского языка имени, из которых первое обозначало принадлежность к определенному роду, второе же — по большей части прилагательное — означало самый вид. Вид является для Линнея абсолютно неизменной основой его системы. „Tot numeramus species, quot creavit ab initio infinitum ens,“ гласит его известное изречение („Мы насчитываем столько видов, сколько их создал бог в начале творения“). Теория эта, совершенно не объяснявшая сходств в анатомическом строении живых существ и употреблявшая слова „родство“ и „связь“ только в метафорическом смысле, впоследствии застыла в догмат, который безраздельно господствовал до начала XIX в., не только в учении о ныне живущих формах, но и в палеонтологии, и который был ниспровергнут лишь во второй половине истекшего столетия.

В своем стремлении все систематизировать Линней захватил и минеральное царство. Но так как и здесь он обращал преимущественно внимание лишь на внешнюю сторону явлений, то успех его был невелик. Однако в своей работе о приращении земли¹ Линней развил любопытные взгляды, отчасти подтвердившиеся и впоследствии. По теории Линнея напластования земной коры происходят не от размельченных первичных горных пород, а являются продуктом органической жизни. Известковые горные породы возникли по Линнею из раковин и кораллов, растения же дали начало глинистым отложениям, затвердевшим впоследствии в сланцы.

¹ Linnés, Oratio de telluris habitabilis incremento.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОБЛАСТЬ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

Хотя в XVIII в. в ботанике преобладало систематизаторское направление, но в эту же эпоху были заложены основы некоторых важных отраслей физиологии растений. Правда, о дальнейшем развитии их на первых порах думали так же мало, как о продолжении работ Грю и Мальпиги по анатомии растений. Говоря об исследованиях в области физиологии растений, мы имеем в виду работы Гельса о движении растительного сока, а также открытие взаимоотношений между цветами и насекомыми Конрадом Шпренгелем (Konrad Sprengel), труды которого были по достоинству оценены лишь в новое время, после того как Дарвин занялся этим вопросом.

ВОПРОС О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

В XVII и XVIII вв. было немало попыток выяснить вопрос о питании растений. Попытки эти вызывались уже одним тем, что вопрос этот рассматривается в сочинениях Аристотеля. По мнению Аристотеля растения заимствуют свою пищу в готовом виде из земли и поэтому не выделяют никаких экскрементов¹. Так как новейшее естествознание показало во многих случаях всю беспочвенность подобных, выведенных из общефилософских принципов теорий, то для решения данного вопроса оно прибегло тоже к своему универсальному победоносному оружию, — экспериментальному методу.

Одним из первых ученых, рассматривавших вопрос о питании растений с естественно-научной точки зрения, хотя и на основе недостаточных химических и анатомических знаний, был Мариотт. Мы уже раньше познакомились с ним как с одним из основателей физики газов². Мариотт, как и все противники аристотелевского

¹ Meyer, Geschichte der Botanik, т. 1, стр. 120.

² См. т. 2.

мировоззрения, был приверженцем корпускулярной теории, искавшей объяснения явлений в движении мельчайших частиц или корпускул. Причину движения эта теория видела в силах притяжения или отталкивания.

Мариотт высказал свои взгляды по вопросу о питании растений в одной работе от 1679 г.¹ По его теории растения заимствуют из почвы некоторые вещества — „начала“, как выражается Мариотт. Подобными началами являются соль, селитра, сера, вода и земля. Согласно Мариотту и частицы воздуха играют известную роль при питании растений. Молния сжигает их, а вода доставляет почве.

Позднейшие исследования показали, что взгляды эти в общем правильны. Мариотт еще не в состоянии был производить настоящих опытов по химии растений. Но для доказательства ошибочности аристотелевской теории такого рода опыты и не были необходимы. Растения не заимствуют элементы, из которых они составлены, в готовом виде из почвы: это по словам Мариотта доказывается уже одним тем фактом, что из одной и той же горсти земли можно вывести тысячу различных растений, отличающихся друг от друга своим химическим составом. Точно так же тот факт, что можно к одному стволу привить самые различные черенки, образующие из одного и того же получающегося из почвы сока самые различные в химическом отношении продукты, показывает по правильному замечанию Мариотта, что растительные вещества возникают из различных начал путем соответствующего соединения их.

К аналогичным воззрениям пришел и Х. Вольф, который продолжал философию Лейбница и оказал также благотворное влияние на развитие химии благодаря своим попыткам применить корпускулярную теорию к объяснению явлений природы². В 1723 г. Вольф выпустил книгу по всеобщему природоведению³. В этой работе он дал стройное изложение учения о питании растений. Вольф также защищал тот взгляд, что растения химически изменяют входящие в них вещества. Об этом он умозаключает на основании того, что каждое растение содержит своеобразные химические составные части („свое особенное масло“). Растения по Вольфу заимствуют свои питательные вещества не только из почвы, но также и из воздуха.

Таким образом в XVII и в первой половине XVIII вв. мы замечаем в вопросе о питании растений довольно значительный в целом прогресс по сравнению со взглядами Аристотеля и ван-Гельмонта. Но в это время еще не было достаточно солидной химической основы, которая позволила бы правильно понять эту сторону жизни растений.

¹ См. главу: „Sur le sujet des plantes“ в „Oeuvres de Mariotte“.

² См. в другом месте предлагаемого тома.

³ Chrst. Wolf, Vernünftige Gedanken von den Wirkungen der Natur, Halle 1723.

ФИЗИКА И ФИЗИОЛОГИЯ

Гораздо успешнее химических оказались попытки применения к проблемам физиологии растений физических методов исследования. XVII в. был периодом исключительно блестящего развития физики. Во всех своих областях она пользовалась количественными методами исследования. Великой заслугой Гельса было то, что он первый применил эти методы к явлениям жизни растений.

Стефан Гельс родился 17 сентября 1677 г. недалеко от Кента. В Кембридже он изучал теологию. Одновременно с этим он с большим прилежанием занимался математикой и естественными науками. Остававшийся у него после выполнения обязанностей священника досуг он употреблял для осуществления великой задачи, именно — распространения физического мировоззрения и физических методов исследования на область явлений жизни. В 1718 г. Гельс был избран членом Королевского общества. Он умер 4 января 1761 г.

В своем главном труде „Статика растений“¹ — Гельс пытался, исходя из тогдашних достижений в области механики и химии, проникнуть с помощью эксперимента в сущность процессов жизни растений. Открытие Гарвеем кровообращения поставило на очередь дня вопрос о том, не имеет ли места в растительном организме какой-либо аналогичный процесс. На этот вопрос Гельс и пытался ответить при помощи своих опытов. Подобно тому как в физиологии животного важнейшую роль играют жидкости, скорости их обращения, действующие на них силы, а также количество сухой и жидкой пищи, так — доказывает подробным образом Гельс — механические причины являются основой жизни растений и регулируют их рост. Сходство между растениями и животными так велико, что если подходить к изучению их с одинаковыми методами, то можно надеяться добиться важных открытий. Метод, который Гельс впервые применил к изучению растений, заключался в вычислении, измерении и взвешивании. В этом сказывалось влияние физики, начавшее тогда распространяться на все новые и новые области. „Благодаря вычислению и измерению, — говорит Гельс в своем главном труде, — великий Ньютон сумел установить законы, согласно которым движутся небесные светила. Творец в своей всемудрости поставил себе правилом создать все согласно числу, мере и весу. Поэтому желая понять его творение, мы тоже должны пользоваться числом, мерой и весом. Это самый разумный и верный путь к познанию. Огромные успехи, достигнутые благодаря этому методу, должны побудить нас пользоваться им“.

Гельс прежде всего старался определить количество жидкости, впитываемой растением из почвы и выделяющейся потом путем

¹ Hales, Statik der Gewächse, Halle 1748. Английское издание вышло в Лондоне в 1727 г.

испарения через листья. Подсолнечник вышиной в 3,5 фута был посажен в горшок, защищенный по возможности от испарения при помощи свинцовой крышки. Через эту крышку шла труба, служившая для доливания воды. В жаркие дни потеря в весе от испарения за 12 час. с утра до вечера равнялась 1 фунту 14 унциям; когда же подсолнечник срезали и заклеили срез стебля, то потеря в весе при тех же условиях равнялась только 2 унциям¹. В теплую сухую ночь испарение подсолнечника составляло 3 унции. При выпадении росы испарение совершенно прекращалось.

После этого Гельс предпринял определение всей поверхности подземных и надземных частей подсолнечника. Прежде всего он срезал все листья и распределил их в группы по величине. Затем на взятые из каждой кучки листья была наложена проволочная² сеть с петлями определенной величины и путем подсчета этих петель вычислена поверхность листьев. Гельс нашел таким способом, что величина всей поверхности испарения равна 5616 кв. дюйм., а величина поверхности корней, длина которых в общей сложности равнялась 1448 фут., составляла 2286 кв. дюйм. В течение 12 час. через ствол проходило 34 куб. дюйма воды. Поперечник ствола равнялся 1 кв. дюйму. Рассматривая ствол как полую трубку, можно было сказать, что скорость восходящего движения сока за эти 12 час. равна 34 дюйм. Но, как замечает Гельс, истинная скорость должна была быть гораздо больше, так как большая часть полости ствола заполнена плотным веществом. Гельс нашел, что вечнозеленое лимонное дерево дает гораздо меньше испарений, чем подсолнечник, виноградная лоза и другие теряющие зимой свои листья растения. Позднейшие опыты Гельса, произведенные на двенадцати видах вечнозеленых растений, подтвердили это сделанное им на лимонном дереве наблюдение².

Особенное значение имело то обстоятельство, что Гельс постоянно сравнивал результаты своих опытов над растениями со сделанными на животных и людях наблюдениями. Так, из своих исследований над испарением подсолнечника он вывел, что растение это поглощает и выделяет на единицу веса за одно и то же время в 17 раз больше воды, чем человек. Разницу эту Гельс правильно объясняет тем, что жидкость, всасываемая растением из почвы, не содержит столько питательного вещества, сколько сок, переходящий из пищеварительного тракта животных в их тело³.

Так как движение растительного сока, в отличие от кровообращения у животных, не вызывается каким-то механизмом и так как оно по мнению Гельса совершается только в одном направлении, не представляя во всяком случае круговорота внутри сосудов растения, то он пытался прежде всего определить силу, при помощи которой растения всасывают в себя жидкости. Для этого он сделал

¹ 1 фунт = 16 унциям.

² Hales, Statik der Gewächse, стр. 6, I. Hauptstück, 1. Erfahrung.

³ Hales, Statik, стр. 49, II. Hauptstück, 21. Erfahrung.

следующий опыт. Рядом с покрытым листьями деревом была вырыта яма. Отрезав одну из крупных корневых ветвей, Гельс ввел ее в стеклянную трубку, другой конец которой был погружен в наполненный ртутью сосуд (см. рис. 14). Корень стал тогда всасывать жидкость с такой силой, что ртуть поднялась в трубке на значительную высоту¹. Такое же действие обнаруживала при испарении

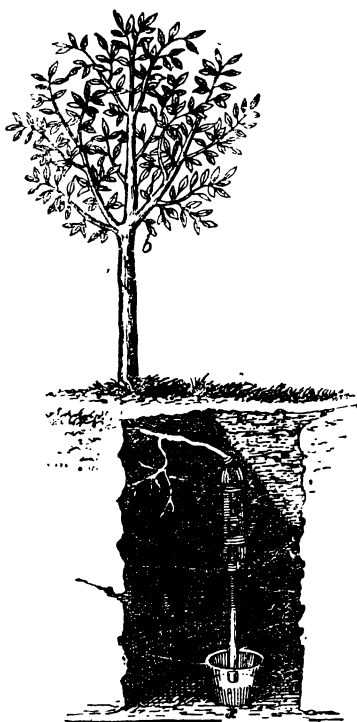


Рис. 14. Всасывание корнями (Гельс. Статика растений, табл. III, фиг. X).

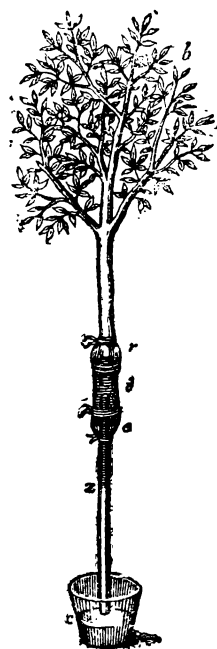


Рис. 15. Опыт Гельса над всасыванием испаряющей ветви.

ветвь, когда ее срезанный конец погрузили таким же способом в сосуд с ртутью. Так, например, свежесрезанную ветвь молодой яблони соединяли с трубкой; эту последнюю наполняли водой и погружали в ртуть. За 7 мин. ртуть поднялась на 12 дюйм. (рис. 15). Однако в других случаях ртуть поднималась только на незначительную высоту, так что сам Гельс считал невозможным объяснять движение воды у крупных растений одним только вызываемым испарением процессом всасывания ветвей. Поэтому он признал здесь на-

¹ Hales, Statik, I. Hauptstück, 5. Erfahrung.

личие еще других движущих сил, как капиллярность и изученное им с помощью многочисленных экспериментов корневое давление.

Однако в рассматриваемом явлении имеется еще немало загадочного даже для современной физиологии растений. Гельс заканчивает свое исследование следующими словами: „Растения всасывают при помощи своих волосных трубок жидкость с большой силой, как мы это видели. Эта жидкость исчезает благодаря испарению. В результате сосуды пустеют и начинают вследствие этого всасывать новую пищу“. Гельс пытался при помощи опытов над неорганическими пористыми веществами доказать, что изучавшееся им у растений явление объясняется чисто физическими силами. Так, например, он наполнял суриком длинную стеклянную трубку и соединял ее с водой и ртутью, как он это сделал в опыте с корнем. И в этом случае не только вода поднялась вверх в пористой массе, но за ней последовала и ртуть до высоты в 8 дюйм. Впоследствии, однако, было установлено, что всасывающего действия и капиллярности недостаточно, чтобы поднять воду на значительную высоту; местопребывание сил притяжения стали искать то в клеточной стенке то в содержимом клетки, но все-таки еще до сих пор нет вполне удовлетворительного объяснения рассматриваемого явления.

Классические исследования Гельса создали также ту основу, на которую опирается современная физиология растения для объяснений другой группы явлений, так называемого плача деревьев, вызываемого корневым давлением¹. Гельс обрезал виноградную лозу на высоте 7 дюйм. над землей. Оставшийся 4—5-летний пенек, имевший $\frac{3}{4}$ дюйма в толщину (рис. 16, c), был совершенно лишен ветвей; к верхушке пня Гельс прикрепил с помощью особого кольца *b* стеклянную трубку *bf* длиной в 7 фут. и диаметром в $\frac{1}{4}$ дюйма. Кольцо *b* он законопатил массой из воска и скипидара, которую он тщательно завязал с помощью мокрого пузыря. К первой трубке он присоединил вторую *fg*, а ко второй — третью *ga*, так что вместе они составляли трубу в 25 фут. длиной.

Сперва пенек всасывал воду, но вскоре затем из лозы появился сок; через несколько дней жидкость поднялась на высоту больше

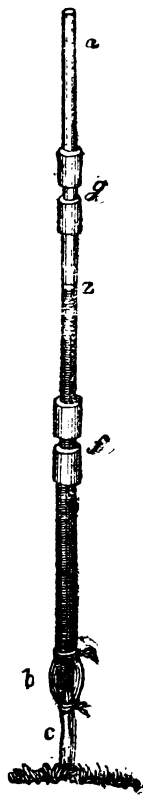


Рис. 16. Подъем растительного сока в трубке длиной в 25 фут. (Гельс, Статика растений, табл. IV, фиг. 17).

¹ Плач виноградной лозы составил в новейшее время предмет классического исследования Эрнста Брюкке (Brücke). См. работу Брюкке в оствальдовской серии классиков точного знания, № 95, Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1898.

20 фут., так что Гельс решил измерить давление при помощи гораздо более тяжелой, чем вода, ртути.

С этой целью он обрезал виноградную лозу (см. рис. 17) на высоте в несколько футов над землей. Оставшийся пенъ *ab* был лишен ветвей и имел около дюйма в толщину. К пню он прикрепил трубку *ayz* и налил в нее ртуть. Уже в тот же самый день ртуть поднялась до *z* и была на 15 дюйм. выше, чем в колене *x*.

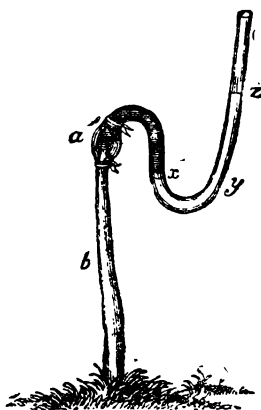
Через несколько дней высота ртути равнялась уже $32\frac{1}{2}$ дюйма. Она была бы еще больше, если бы в трубке было больше ртути. Опыты свои Гельс начал в апреле. В течение мая сила сока стала постепенно убывать. Когда высота ртути равнялась $32\frac{1}{2}$ дюйма, то сила эта равнялась давлению водяного столба высотой в 36 фут.

5 дюйм. В другом опыте ртуть поднялась благодаря силе сока на 38 дюйм., что равнялось давлению водяного столба высотой в 43 фута 3 дюйма.

Гельс указал на то, что эта сила приблизительно в 5 раз больше кровяного давления в артерии лошади и в 7 раз больше кровяного давления у собаки. Для определения кровяного давления у животных он привязывал их живыми на спину и вскрывал крупную артерию, которую соединял затем со стеклянной трубкой в 10 фут. длины и в $\frac{1}{8}$ дюйма диаметром. В этой трубке кровь лошади поднялась на 8 фут. 3 дюйма, а кровь маленькой собачки — на $6\frac{1}{2}$ фут.

Путем опытов же Гельс пытался опровергнуть теорию, будто в растении имеет место круговорот жидкости, аналогичный кровообращению у животных. Так, исследуя процесс испарения у растений или отдельных ветвей, он сделал в них ряд надрезов друг над другом, доходивших до сердцевины

Рис. 17. Определение корневого давления при помощи ртутного манометра (Гельс, Статика растений, табл. IV, фиг. 18).



растения и обращенных во все четыре стороны горизонта. „Хотя,—говорит Гельс,—соку таким образом был прегражден в нескольких местах прямой путь, однако значительная масса воды прошла через такую потеющую ветвь. Надо заметить также, что верхняя поверхность надрезов не становилась влажной, что должно было бы иметь место в случае круговорота сока“.

Гельс распространил свои измерительные методы и на изучение почвы. Он брал на различной глубине пробы почвы и определял степень ее влажности. Далее он определял величину испарения почвы и сравнивал полученные таким образом результаты с испарением воды. Хотя опыты Гельса были еще довольно грубы и условия их не были еще все известны и хотя благодаря этому в полученные им числовые результаты вкрался ряд ошибок, но не следует забывать того, что здесь мы встречаемся с первой попыт-

кой научного подхода к совершенно неизвестной до того области исследования. Поэтому Гельса с полным правом называют отцом физиологии растений.

ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ И ХИМИЯ ГАЗОВ

Гельс пытался исследовать научным образом не только циркуляцию жидкостей в растениях, но и обмен газов в них. Он это сделал с таким блестящим успехом, что мы должны отвести ему весьма крупное место в деле основания современной химии. Ведь Гельсу эта наука обязана одним из своих важнейших приборов — пневматической ванной, а также весьма ценными исследованиями процессов дыхания и горения. Правда, результаты его исследований страдали крупными недостатками, так как он не умел еще отличать друг от друга разных газов. Для Гельса всякое газообразное вещество — независимо от того, получилось ли оно путем сухой перегонки, или путем брожения, или в процессе растворения — представляло собой загрязненный различными примесями воздух. Уже до Гельса заметили, что части растения, находившиеся продолжительное время под колоколом, наполненным водой, выделяют газ. Отсюда Гельс заключил, что воздух входит в состав растения. С помощью воздушного насоса он доказал, что воздух проникает через древесину. Он упоминает также описанные Грю дыхательные отверстия (устыща) и указывает на их сходство с отверстиями потовых желез. Через эти отверстия в ствол и в листья проникает необходимый для питания растений воздух.

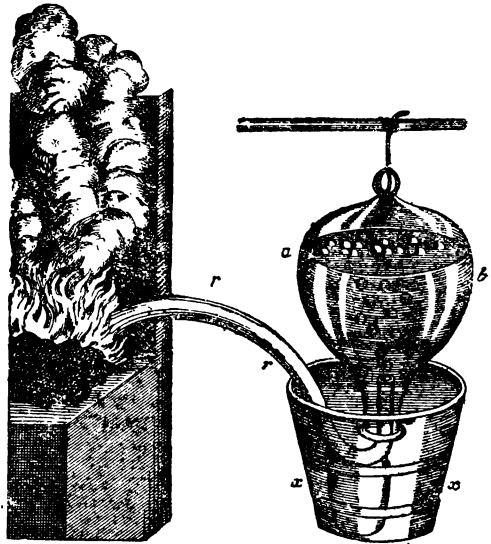


Рис. 18. Опыты Гельса над сухой перегонкой, произведенные с помощью пневматической ванны (Гельс, Статика растений, табл. IX, фиг. 38).

Чтобы исследовать газ, выделяемый растениями при их разложении, Гельс употреблял стеклянные сосуды, наполненные водой и опущенные своим открытым концом в большой сосуд с водой (см. рис. 18). Этот, известный под названием пневматической ванны, прибор впоследствии очень облегчил исследование газов. При сухой перегонке 398 гран гороха Гельс получил 396 куб. дюйм. газа, загоравшегося от свечи. В другом опыте половина кубического дюйма

или 135 гран дубового дерева дали 128 куб. дюйм газа. Таким образом возникавший газ занимал гораздо большее пространство. Он образовался из трех четвертей взятого дерева¹.

Гельс применил также свой прибор к исследованию каменного угля. Путем сухой перегонки 158 гран каменного угля он получил 180 куб. дюйм. горючего воздуха. Гельс таким образом первый заложил экспериментальные основы для получения светильного газа, но практическое применение его открытие получило лишь спустя сто лет.

Из вышеупомянутых опытов Гельса над величиной кровяного давления видно, что он не ограничивался одним только изучением физиологии растений. Гельс установил, что кровяное давление в крупных артериях превышает во много раз (по его расчетам в 10—12 раз) кровяное давление в крупных венах. Подвергнув виссекции собаку, он измерил также силу, с которой расширяются при дыхании лёгкие². Он определил размер легочных пузырьков и вычислил на основании этого всю внутреннюю поверхность легких животного, оказавшуюся во много раз больше поверхности его тела.

На основании своих опытов над дыханием Гельс сделал ряд указаний о рациональной с точки зрения гигиены постановке отопления и вентиляции жилищ. Он придумал даже особый вентилятор для улучшения санитарного состояния на тогдашних английских военных судах³. Гельс понимал также, что его изыскания могут оказаться особенно полезными для земледелия. И несомненно, мы имеем дело с отзвуками беконовской философии в тех словах его, которыми он, проникнутый значением своих открытий, заканчивает свое сочинение: „Если бы люди, тратящие под влиянием фантастических бредней свое время и состояние на то, чтобы научиться превращать все в золото, стали исследовать рассмотренные нами явления, то они пожинали бы не ветер, а добились бы лавров, которыми награждаются полезные открытия“.

Следует указать еще на то, как Гельс пытался путем изучения химических процессов объяснить и подкрепить свою, правда, еще смутную догадку, что воздух принимает участие в образовании тела растения, теряя при этом свою упругость. Так, мы встречаем уже у него опыт сжигания фосфора в закрытом пространстве, причем происходило уменьшение объема воздуха. Опыт этот сыграл впоследствии крупную роль при анализе воздуха. От него и аналогичных опытов Герике до открытия факта, что связанный фосфором воздух находится постоянно в определенном отношении к оставшейся массе воздуха и что, следовательно, воздух состоит из двух составных частей, оставался только один шаг. Гельс указал также на то обстоятельство, что свинец при своем превращении в сурик поглощает воздух, соединяющийся со свинцом и увеличивающий вес сурика. Мало того, Гельс получал обратно этот воздух путем нагревания сурика в реторте, т. е. производил уже тот самый опыт,

¹ Hales, Statik, стр. 102 и 103, VI. Hauptstück, 55 и 57. Erfahrung.

² Hales, Statik der Gewächse, VI. Hauptstück, 113. Erfahrung.

³ Гельс сделал доклад об этом в 1741 г. в Королевском обществе.

который привел впоследствии Пристли к открытию кислорода, а Лавуазье к правильному истолкованию процесса горения. Таким образом Гельс, как Блек и другие современные ему исследователи, обладал уже экспериментальными основами для правильного объяснения процесса горения. Но эти ученые все еще не могли избавиться от традиционных воззрений. Для Гельса исчезновение воздуха было не так существенно, как мнимое присоединение частиц огня.

Изучение химической стороны физиологии растений могло подвинуться вперед лишь тогда, когда сама химия добилась серьезных успехов. Это было достигнуто во второй половине XVIII в. благодаря работам Пристли, Шеле и Лавуазье. Из этих работ и исходили Ингенгус (Ingen-Hausz) и де-Соссюр, которые, как мы увидим в одной из дальнейших глав, и были подлинными основателями физиологии питания.



ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОСНОВАННОЙ В XVII ВЕКЕ ПОЛОВОЙ ТЕОРИИ

Кроме описанных в предыдущей главе исследований по физиологии питания, в XVIII в. появился ряд выдающихся работ по ботанике, имевших целью дальнейшее развитие основанной Камерарием¹ половой теории. Мы имеем в виду опыты гибридизации Кельройтера (Kölreuter), пролившие яркий свет на сущность полового фактора у растений, а также доказательство Шпренгелем (Sprengel) важной роли, играемой насекомыми в процессе оплодотворения.

От появления книги Камерария о поле у растений (1694 г.) до опубликования работы Кельройтера по тому же вопросу прошло около 70 лет. За это время очень многое писалось в пользу нового учения и против него, однако лишь редко кто обращался к эксперименту, являющемуся неперемным условием прогресса в этой области знания. Так, например, Лейбниц писал в 1701 г., что цветок, очевидно, имеет ближайшее отношение к процессу размножения и что очень важно установить различия в способе размножения у разных растений. Однако Лейбниц со своими многосторонними интересами не был тем человеком, который мог бы предпринять требовавшие массы труда и времени опыты в указанном направлении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОЛОВОЙ ТЕОРИИ

За указанный период достойны упоминания опыты Бредли (Bradley)², экспериментировавшего с двуполыми цветами. Бредли посадил двенадцать тюльпанов, позаботившись о том, чтобы по соседству не было больше никаких тюльпанов. После этого он уничтожил тычинки этих растений до того, как они раскрылись. В результате ни одно из указанных двенадцати растений не дало семян.

Дальнейший прогресс в деле познания пола у растений заключался в том, что были сделаны—правда, разрозненные на первых порах—наблюдения над оплодотворением растений при помощи насекомых. При повторении вышеупомянутых опытов было замечено³,

¹ См. т. 2.

² New improvements in gardening, 1717, I, стр. 20.

³ Наблюдение это было сделано Мюллером (Müller) в 1751 г.

например, что пчелы с соседней тюльпанной грядки переносили пыльцу на цветы лишенных тычинок растений, которые давали затем зрелые семена. Наряду с этим занимались вопросом, каким образом пыльца способствует возникновению семени, находящегося часто очень далеко от рыльца. Однако по этому вопросу не пришли ни к какому положительному результату.

Лучшим исследованием по вопросу о поле у растений, появившимся за время между работами Камерария и Кельройтера, была, несомненно, работа Гледича от 1749 г.¹ Берлинская академия наук со времени начала царствования столь благосклонного к ней Фридриха Великого уделяла особенное внимание ботанике. Ее сочлен Гледич выпустил книгу, являющуюся первым научным руководством в этой отрасли знания. Под руководством того же Гледича было сделано многое для сельского хозяйства. Было приложено много усилий не только для того, чтобы улучшить методы возделывания земли, но и для того, чтобы ввести новые полезные культуры. При таком положении вещей ясно, что и научная ботаника должна была добиться значительных успехов в Пруссии. Тот же Гледич рекомендовал производить опыты с растениями, и сам предпринял многочисленные подобные опыты. Здесь мы считаем необходимым упомянуть о многолетних опытах над различными видами, о которых сообщает Гледич в вышеназванной работе. Для своих экспериментов он выбрал двудомные растения. Особенную известность приобрел его опыт оплодотворения одной росшей в Берлинском ботаническом саду пальмы при помощи мужского экземпляра того же вида, находившегося в Лейпциге. Гледич сообщает об этом следующее. Берлинской пальме 80 лет, она женского рода и не приносила еще никогда плодов. В Берлине никогда не имелось мужского экземпляра того же вида, зато он имелся в Лейпциге. Гледич добыл мужские цветы из Лейпцига и посыпал их пыльцей экземпляр берлинской пальмы. Результаты этого опыта явились убедительнейшим доказательством правильности учения о поле у растений. Вполне бесплодное до того дерево принесло плоды, которые созрели зимой, а в следующую весну дали ростки.

За десятилетия, отделяющие деятельность Камерария от работ великого завершителя его дела Кельройтера, Линней успел создать свою ботаническую систему. Хотя последняя основывалась на числе и свойствах тычинок и пестиков, однако по существу она не имела ничего общего с проблемой пола у растений. Линней, как мы знаем, по всему направлению своей научной деятельности придавал мало значения микроскопическим и экспериментальным исследованиям, которые одни имели здесь решающее значение.

В других местах нашей книги² мы уже говорили об эволюции взглядов на пол у растений. Вопрос этот можно было решить только экспериментальным путем; попытки решить его участились особенно с тех пор, как под влиянием открытия сперматозои-

¹ Появился в „Записках Берлинской академии наук“ от 1751 г.

² См. тт. 1 и 2.

дов¹ возрос интерес к сущности процесса размножения. В связи с этим открытием Левенгук выдвинул теорию, что подлинным ядром, из которого развивается новый организм, является подвижной мужской элемент. Перед ботаниками вследствие этого встал вопрос, каким образом этот элемент попадает через столбик в полость завязи. Для выяснения процесса оплодотворения обратились к исследованию бесцветковых растений. В Германии особенных успехов достигло изучение водорослей, лишайев и мхов².

АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛОВОЙ ТЕОРИИ

В решении этих вопросов огромный шаг вперед был сделан Кельройтером. Если для получения жизнеспособных семян необходимо действие пыльцы на пестик, передающееся каким-то еще непонятным образом семяпочке, то неизбежно должен был возникнуть вопрос, какое участие принимают соответственно мужской и женский элементы в возникновении нового экземпляра растения. Так как при нормальном опылении последний похож на своих родителей, то вопрос этот можно было решить, как предлагал уже Камерарий, только путем перенесения пыльцы растения одного вида на рыльце растения другого вида. Если бы этот опыт удался, то это послужило бы новым подтверждением половой теории. Первым добился успеха на этом пути вышеупомянутый Кельройтер³, который и заложил основы для всех дальнейших работ в этом направлении. Произведение Кельройтера высоко поднимается над всеми предшествовавшими ему и современными ему сочинениями по ботанике. Оно представляет собой крайне остроумную, требовавшую огромного труда и написанную в духе современного научного исследования работу, на которой основывались все позднейшие исследования по вопросам о поле и гибридизации у растений.

В своем исследовании Кельройтер исходит из рассмотрения строения пыльцы и изменений, испытываемых ею после опыления. Хотя микроскопическая техника была тогда слабо развита и не давала еще возможности заглянуть в более тонкие детали структуры, но все же Кельройтер заметил, что крупинки пыльцы обладают внешней плотной оболочкой и лежащей под нею внутренней более нежной оболочкой. Внутреннее содержимое он характери-

¹ См. том II.

² Благодаря Диллениусу (Dillenius), опубликовавшему об этом замечательную работу, снабженную 85 гравюрами, „*Historia muscorum*“, 1741. Диллениус родился в 1687 г. в Дармштаде, был профессором ботаники в Оксфорде и умер в 1747 г.

³ И. Г. Кельройтер родился в 1733 г. в Зульце на Неккаре, а умер в 1806 г. в Карлсруэ, где он был профессором естественной истории. Кроме того, почти в течение 20 лет он занимал должность главного смотрителя придворного ботанического сада. Результаты своих исследований он опубликовал в нескольких работах, появившихся в 1761—1766 гг. Книга Кельройтера была перепечатана В. Пффером в виде 41 томика оствальдовской серии классиков точного знания. (Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1893). Она озаглавлена следующим образом: „*Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen*“.

зовал как зернистую, равномерно-жидкую и прозрачную в зрелом состоянии массу (протоплазма). Он заметил далее шипы и рас- трескивание наружной оболочки, увидел в ней отверстия и при- крывающие их крышечки. Он заметил, наконец, даже, как внутрен- няя оболочка (интина) выпячивается из этих отверстий, и таким образом наблюдал начало образования пыльцевой трубочки. За дальнейшими деталями процесса Кельройтер уже не в состоянии был следить и поэтому его представление о нем было неполным. Но так как тем не менее Кельройтер продолжал идти вперед, оторвавшись уже от почвы опыта, то созданная им теория процесса оплодотворения не могла выяснить сущности последнего. Согласно Кельройтеру оплодотворение происходит уже на рыльце таким образом, что находящаяся там жидкость, которую он принял за женский элемент, соединяется с маслянистой мужской жидкостью зернышка пыльцы. Эта смесь всасывается рыльцем и пестиком и проникает таким образом в завязь, образуя там в семянных коро- бочках побеги.

Только соединенным, потребовавшим огромного труда усилиям многочисленных исследователей XIX в. удалось сорвать покров с этого столь важного для понимания органической жизни процесса.

Дальнейшие исследования Кельройтера касались вопроса о том, сколько необходимо зернышек пыльцы для оплодотворения. Он доказал, что достаточно одного такого зернышка, чтобы оплодо- творить односемянную завязь. Из этого Кельройтер заключил, что отношение числа необходимых для оплодотворения зернышек пыль- цы к числу всех имеющихся в цветке зернышек крайне ничтожно. Он доказал это следующим образом. В одном цветке *Hibiscus venetianus* Кельройтер насчитал 4863 зернышка пыльцы; но в семян- ной коробочке этого растения в случае полного естественного оплодотворения имеется только около 30 семян, для произведения которых необходимы были 50—60 зернышек пыльцы. Когда Кель- ройтер переносил в 10 раз больше пыльцы на рыльце растения, то число получившихся семян не было больше и качество их не было лучше. Мы видим, таким образом, что в своих, столь важных для понимания процесса оплодотворения опытах Кельройтер обра- щал внимание на самые мелкие подробности.

ОПЫТЫ НАД ГИБРИДИЗАЦИЕЙ РАСТЕНИЙ

Анализируя затем случаи попадания пыльцы одного вида растений на рыльце другого, Кельройтер, как подлинный естество- испытатель, сейчас же заявляет, что об успехе или неуспехе такого рода противоестественного смешения может дать ответ только опыт. Кельройтер исходит из предположения, что такое смешение представляет нечто исключительное. Природа, говорит он, соблю- дающая всегда при кажущемся хаосе прекраснейшую гармонию, прибегла для устранения такого беспорядочного смешения живот- ных, помимо других средств, к действию инстинктов. Поэтому следует допустить, что природа сумела при помощи столь же

верных средств противодействовать результатам подобного противоестественного смешения у растений, у которых ветер и насекомые дают часто повод для него. Чаще всего такое смешение должно происходить в ботанических садах, особенно, если растения расположены там так, что наиболее сходные из них находятся ближе всего друг к другу, т. е. если они сгруппированы, как мы бы теперь сказали, согласно естественной системе.

После многих бесплодных опытов Кельройтер добился первой успешной гибридизации в 1760 г. на двух видах табака. „Так как я уже давно был убежден в половом размножении растений, пишет об этом Кельройтер¹, и никогда не сомневался в возможности искусственно получить помесь, то я не переставал предпринимать в этом направлении опыты, надеясь, что мне когда-нибудь удастся таким путем получить гибридное растение. В конце концов я добился этого у *Nicotiana paniculata* и *Nicotiana rustica*; оплодотворив палочкой первого растения пестик второго, я получил вполне хорошие семена, из которых еще в том же году вывел молодые растения“.

Так как Кельройтер повторил этот опыт со всевозможными предосторожностями в различное время над многими растениями, получая каждый раз вполне хорошие семена, то возможность какой-нибудь ошибки или какого-нибудь промаха была совершенно исключена. Дальнейшим доказательством успеха искусственной гибридизации явился посев от полученных Кельройтером при помощи этих опытов семян.

Действительно, к своему величайшему удовлетворению, Кельройтер заметил, что выросшие из семян помеси растения занимали промежуточное положение между родительскими индивидами не только в расположении своих ветвей и в окраске лепестков цветка, но и во всех почти остальных частях цветка. Этот факт, как подчеркивал и Кельройтер, резко противоречил принимавшемуся в XVIII в. многочисленными учеными и известному под названием теории эволюции мнению, согласно которому зародыш находится в готовом виде в женских органах и нуждается для своего развития только в импульсе со стороны пыльцы или семени. Кельройтер справедливо замечает, что благодаря его опытам вполне подтверждается старое аристотелево учение о том, что для размножения необходимы двоякого рода производительные вещества.

Однако в одном отношении помесь обнаруживала замечательную особенность. Ее тычинки были крайне малы и содержали мало пыльцы. К тому же последняя не была заполнена жидкостью, а состояла из пустых пузырьков, которые не в состоянии были вызвать оплодотворения. „Таким образом,—воскликает Кельройтер², это растение является истинным и, насколько мне известно, первым ботаническим мулом, полученным искусственным путем“. Хотя гибридный табак не мог быть оплодотворен своей собственной пыльцой, однако его удалось оплодотворить пыльцой экземпляров

¹ Ostwalds Klassiker, № 41, стр. 30.

² Ostwalds Klassiker, № 41, стр. 31.

отцовского или материнского вида. В обоих случаях Кельройтер получил вполне хорошие семена, хотя и в несравненно меньшем количестве, чем их получается в случае негибридизированных растений „путем сообразного порядку природы оплодотворения“.

Следующий шаг заключался в том, чтобы, так сказать, обернуть опыт и оплодотворить рыльце *Nicotiana paniculata* пыльцой *Nicotiana rustica*. Хотя и в этом случае имело место оплодотворение, но получившиеся семена были меньше естественных семян, и из 60 этих искусственно полученных семян ни одно не проросло. Однако они значительно превосходили неоплодотворенные семена, получающиеся от совершенно неопыленного цветка. Кельройтер заключил отсюда, что, несмотря на их бесплодие, в них должно было иметь место нечто от оплодотворения и нечто от следующего за этим роста.

Исходя из „философских соображений“, Линней допускал возможность гибридных растений, хотя не сделал ни одного опыта в этом направлении. Так, он выводил один вид вероники из двух других видов этого же самого растения на том только основании, что все эти три формы встречались в одном и том же месте. Род *Saroparia* должен был, по мнению Линнея, путем оплодотворения пыльцой *Gentiana*, а вид *Astaëa* путем оплодотворения пыльцой *Rhus toxicodendron* давать гибридные формы. В противоположность этим голым догадкам Линнея, Кельройтер доказал путем многочисленных опытов, что гибридные растения получают далеко не так легко и что гибридизация предполагает гораздо более значительное сходство смешиваемых видов, чем это принимали до тех пор. У многих растений Кельройтер, несмотря на их близкое родство, не мог добиться никакого успеха.

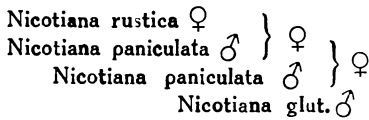
За замечательной работой Кельройтера от 1761 г. последовало в 1763 г. второе исследование, с массой нового материала, дополнявшего первое сообщение. Из 60 посеянных Кельройтером семян *Nicotiana paniculata* (♀) и *Nicotiana rustica* (♂) ни одно, как указывалось в работе от 1761 г., не проросло¹. Повторив теперь опыты, Кельройтер добился частичного успеха. Действительно, из четырех семенных коробочек, семена которых Кельройтер посеял в разное время, получилось восемь растений, что представляло, правда, ничтожную по отношению к числу всех содержащихся в четырех коробочках семян величину.

Основоположное значение имели такие опыты, в которых Кельройтер пытался путем повторного оплодотворения помесей пыльцой родительской формы превратить их обратно в последнюю. Если рыльце помеси от *Nicotiana rustica* ♀ и *Nicotiana paniculata* ♂ опылялось пыльцой *Nicotiana rustica* ♂, то получившееся от этого смешения растение приближалось к *Nicotiana rustica*. При повторных опылениях пыльцой *Nicotiana rustica* это приближение помеси к исходному виду делалось все явственнее.

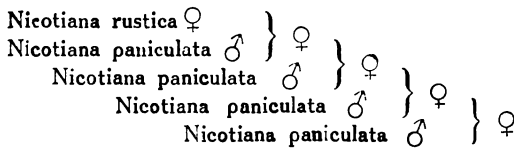
Кельройтер получил также помеси внутри родов *Dianthus*, *Hyoscyamus*, *Verbascum*, *Mattiola* и др. Далее ему удалось получить

¹ Значок ♂ означает мужское, а значок ♀ женское растение.

сложные, т. е. возникшие из трех или более видов, гибриды. Так, смешение трех видов *Nicotiana* происходило по следующей схеме:



К самым замечательным опытам Кельройтера принадлежит получение им помесей высшей степени или „полное превращение одного естественного вида растения в другой“. Так, превращение *Nicotiana rustica* в *Nicotiana paniculata* происходит по следующей схеме:



Таким образом Кельройтер, исходя из *Nicotiana rustica*, употребляя в течение четырех поколений для оплодотворения пыльцу *Nicotiana paniculata*. В результате в четвертом поколении получилось растение, во всех отношениях похожее на *Nicotiana paniculata*. У некоторых растений для такого превращения требовалось еще несколько поколений; наоборот, у других оно удавалось уже во втором или третьем поколении. То же самое наблюдалось при опытах обратного возвращения уже превращенного вида в первоначальное материнское растение. Полученные Кельройтером результаты были так поразительны, что, как он сам замечает, мысль, о возможности подобных фактов даже не пригрезилась бы ему в начале его опытов.

Что гибридизация не играет в природе той роли, какую ей можно было бы приписать на основании этих опытов, имеет — как это показал также экспериментальным путем Кельройтер, — свои основания. Действительно, если на рыльце попадает пыльца с растения другого вида и с растения того же самого вида, то действие оказывает, даже при близком родстве, только последняя. Несмотря на это гибридизация является, может быть, как показали новейшие исследования¹, одним из тех средств, которые приводят к возникновению новых видов. Хотя благодаря ветру и насекомым во всякое время и во всех местах происходят смешения пыльцы, но, как выражается Кельройтер, „творец благодаря вложенному им в природу закону, которому мы не можем достаточно надивиться, поставил границы всякому хаосу и беспорядку. Закон этот заключается в том, что, если на рыльце попадает в одно и то же время собственная и чужая пыльца, то действие оказывает только собственная пыльца, чужая же совершенно исключается из акта оплодотворения“.

Проникнутый значением своих открытий, Кельройтер замечает, что с древних времен считали возможным превращение металлов

¹ Особенно исследования Фокке (Focke).

друг в друга, но никому еще не приходило в голову превратить одно растение в другое или же одно животное в другое, вероятно, потому, что это считали гораздо более трудным делом. Между тем он в течение немногих лет сумел решить проблему превращения растений друг в друга, в то время как в течение многих веков тщетно старались превратить металлы друг в друга. Кельройтер высказал мысль о возможности таких же превращений и в мире животных. И в этом случае, полагал он, можно будет добиться превращений, которые, по всем вероятностям, будут происходить по тем же законам, что и у растений. „Почему,—восклицает Кельройтер,—нельзя будет превратить канарейку в коноплянку“? Ведь удалось же ему в его опытах превращение растений одного вида в растения совершенно другого вида; почему считать невозможными аналогичные факты в мире животных? Намекая на овидиевы „Превращения“, Кельройтер замечает, что удавшиеся ему превращения обладают тем преимуществом, что они существуют не в фантазии поэта, а в действительности.

Искусственным получением помесей от различных видов животных занимался впервые тщательно итальянский физиолог Спалланцани (Spallanzani)¹. В своих опытах он имел дело преимущественно с земноводными и насекомыми, пользуясь при этом методом искусственного оплодотворения.

Мы остановились несколько подробнее на работах Кельройтера потому, что они относятся к лучшим и поучительнейшим экспериментам в области физиологии. Его книга никогда не устареет²; при чтении ее кажется, что она написана в наше время. Она образует основу всего того, что мы знаем о поле у растений.

Более случайный характер носят некоторые другие, очень важные наблюдения Кельройтера, дальнейшей разработкой которых он, однако, не занимался. Они явились скорее исходным пунктом для открытия Шпренгелем (Sprengel) и позднейшими исследователями некоторых новых областей знания. Так, Кельройтер заметил дихогамию Кипрея (*Epilobium*), движение от раздражения у некоторых тычинок и пестиков; у вербишника (*Verbascum*) он наблюдал, что пыльца его не оплодотворяет его цветка. Самым замечательным, говорит он при описании полового процесса у *Verbascum*, ему показалось здесь то обстоятельство, что цветок нельзя оплодотворить его собственной пылью. Первоначально Кельройтер усомнился в правильности своего наблюдения, но повторные наблюдения подтвердили его. „Однако,—говорит он,—я не буду останавливаться более на этом явлении, так как я не могу дать правильного объяснения его“.

Кельройтеру же принадлежит открытие, что пыльца переносится на рыльца не только ветром, но и насекомыми во время поисками содержащегося в цветах цветочного сока. „У всех тыквенных

¹ См. стр. 99 и 103 настоящего тома.

² Sachs, Geschichte der Botanik, стр. 440.

растений, сабельников и у многих видов мальвы, — говорит он, — оплодотворение совершается только при помощи насекомых. Я был поражен сделав это открытие на одном из названных растений и увидев, что природа предоставила столь важное дело, как размножение, простому случаю. Но мое изумление при дальнейших наблюдениях еще возросло, когда я убедился, что это на первый взгляд случайное обстоятельство является в действительности вернейшим средством, которое применил мудрый творец для дела размножения“.

„Правда, — продолжает он, — в движениях насекомых не видно сознательного намерения произвести опыление, хотя последнее представляет важнейший акт не только для цветов, но и для сохранения самих этих животных“. Кельройтер заметил также, что многие цветы выделяют сладкий сок — нектар, — привлекающий к себе насекомых.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСУ О ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ МЕЖДУ ЦВЕТАМИ И НАСЕКОМЫМИ

Особенный интерес представляет открытое Кельройтером сотрудничество между животным и растением у омелы¹. Оплодотворение женских цветов омелы — независимо от того, растут ли они вместе с мужскими цветами на одном и том же дереве или находятся на большом расстоянии от них на другом дереве, — совершается согласно Кельройтеру только при помощи насекомых, именно — известных мух, которые разыскивают сладкую жидкость, содержащуюся в мужских и женских цветах. Если принять здесь во внимание свойства пыльцы и количество ее, то легко убедиться, что тщетно было бы ожидать оплодотворения омелы при помощи ветра. Если опыление омелы зависит от насекомых, то распространение семян ее зависит от птиц. Мы имеем здесь таким образом совершенно особый случай, когда существование определенного растения связано с существованием двух совершенно различных классов животных. С другой стороны, существование рассматриваемых животных и птиц в свою очередь зависит от существования омелы; пример этот таким образом с убедительностью доказывает „строгую и необходимую связь всех вещей между собой“.

Дальнейшее развитие открытия Кельройтера о связи между цветами и насекомыми и подробное доказательство факта сотрудничества между животными и растениями было великой заслугой Шпренгеля, о котором справедливо было сказано², что по смелости полета мысли, по гениальности методов исследования он высоко поднимается над Камерарием и даже над самим Кельройтером. К сожалению, это имело следствием то, что своими современниками и преемниками он был еще менее понят, чем оба названных исследователя.

¹ Ostwalds Klassiker, № 41, стр. 20.

² Ostwalds Klassiker, № 41, стр. 83.

Христиан-Конрад Шпренгель, сын священника, родился в 1750 г. в Бранденбурге на Гавеле. Изучив богословие и филологические науки, он сделался сперва учителем в Берлине, а затем (в 1780 г.) ректором школы в Шпандау. Шпренгель отдался занятиям ботаникой с таким рвением, что под конец это навлекло на него неприятности со стороны его церковного начальства, а также граждан Шпандау. Инспектор школы не мог простить Шпренгелю того, что по воскресеньям он предпринимал ботанические экскурсии и опаздывал из-за этого на проповедь. Вследствие этого Шпренгель оставил свою службу в 1794 г., через год после выхода в свет его главного труда.

Современные Шпренгелю ботаники не могли оценить по достоинству результатов его исследований. Его книга была замечена лишь немногими. Это побудило его отказаться окончательно от занятий ботаникой и снова отдаться филологии. Одинокий, никем не признанный, Шпренгель умер в бедности 7 апреля 1816 г. Книга Шпренгеля, а также его имя были совершенно забыты, пока Дарвин, исследования которого пролили новый свет на отношения между цветами и насекомыми, не обратил снова внимание на Шпренгеля и его „своеобразную книгу с ее странным названием“¹.

Уже предыдущие исследователи установили, что пыльца должна попасть на рыльце, для того чтобы из завязи образовалась семенная коробочка, наполненная зрелыми семенами. Шпренгелю суждено было доказать, что „оплодотворение завязи является конечной целью, которой служит все строение выделяющего сок цветка и которой оно целиком объясняется“². Только микроскопические исследования XIX в. дали ключ к пониманию самого процесса оплодотворения³. Микроскописты того времени, как например, Ледермюллер (Ledermüller)⁴, тщетно пытались проследить процессы, наступающие после опыления цветов и приводящие к оплодотворению. „Я потратил бездну усилий,—говорит Ледермюллер⁵,—чтобы найти на рыльце отверстия, через которые могло бы проникнуть зернышко пыльцы; но я не сумел открыть их. Поэтому я думаю, что оплодотворение вызывается не самой пылью, а скорее заключенным в ее зернышках масляным веществом“. Однако Ледермюллеру хорошо известно, что во многих случаях можно показать наличие канала в столбике⁶. Он упоминает также, что некоторые исследователи утверждают, будто пыльца проникает в этот канал и будто в этом и заключается процесс оплодотворения.

¹ Sachs, Geschichte der Botanik, стр. 448. Переиздано Паулем Кнутом (Knut) в виде оствальдовской серии классиков точного знания № 48—51.

² Ostwalds Klassiker, № 48, стр. 31.

³ Лишь в 1823 г. Амичи (Amici) и другие исследователи установили, что рупинка пыльцы вырастает в пыльцевую трубочку, которая проходит через рыльце и соединяется с семяпочкой.

⁴ Ледермюллер, по профессии юрист, родился в 1719 г. в Нюрнберге и умер там же в 1769 г.

⁵ „Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen“, 1761, стр. 46.

⁶ Например у *Butomus* и *Viola*.

Шпренгель полагал, что оплодотворяющим веществом является особая, выделяемая зернышками пыльцы маслянистая субстанция. Когда пыльца попала на рыльце, говорит Шпренгель, то через него проходит во внутренность завязи и действует там на семязпочку не сама эта пыльца, которая для этого слишком груба, а тонкое оплодотворяющее вещество, содержащееся в ней. Вследствие сходства этого способа оплодотворения с процессом оплодотворения у животных справедливо называют тычинки мужскими, а пестики женскими органами растений. Легко заметить, что это самые существенные части цветка. Однако, как было уже упомянуто, вполне выяснить этот вопрос удалось лишь в XIX в.

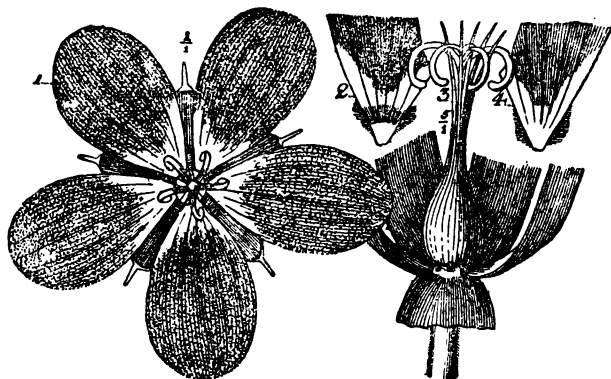


Рис. 19. Цветок болотного журавельника (из книги Шпренгеля „Das entdeckte Geheimniss der Natur“).

К вопросу о приспособлении цветов к опылению их насекомыми Шпренгеля привело изучение органов, выделяющих нектар. Исследуя летом 1787 г. тщательно цветок журавельника, он заметил, что нижняя часть венчика его снабжена с внутренней стороны и по обоим краям тонкими волосками (см. рис. 19). Под этими волосками он заметил пять железок и пять выделенных этими железками капелек сока, которые, как он убедился, служили пищей для известных насекомых. Шпренгель решил, что волоски эти служат для того, чтобы сок не был попорчен дождем. Так как цветок журавельника направлен вверх и довольно велик, то может случиться, что в него попадут капли дождя. Однако ни одна из них не сможет добраться до капельки сока и смешаться с ним, ибо всякая дождевая капля будет задержана волосками, расположенными над капелькой сока. Наоборот, насекомому эти волоски нисколько не помешают добраться до капельки сока. Таков был результат исследования Шпренгелем журавельника. Аналогичные наблюдения он сделал над другими выделяющими сок цветками. Он нашел, что все они так устроены, что насекомые легко могут добраться до сока, а дождь не может. Шпренгель вывел из этого, что сок выделяется ради насекомых и что он защищен от дождя для того,

чтобы насекомые могли высасывать его в чистом, неиспорченном виде. От внимания Шпренгеля, однако, ускользнуло, что волоски не всегда служат защитой от дождя, а имеют во многих случаях задачу отгонять от цветов неприглашенных гостей.

Впоследствии Шпренгель исследовал незабудку (*Myosotis*). Он нашел, что сок и этого цветка вполне защищен от дождя. В то же время он обратил внимание на желтое кольцо, которое окружает отверстие венчиковой трубки и которое так красиво выделяется на фоне голубой окраски края венчика. Не имеет ли отношение, подумал он, это обстоятельство тоже к насекомым и не для того ли природа окрасила это кольцо в такой яркий цвет, чтобы оно указывало насекомым дорогу к сокохранилищу? Шпренгель исследовал с этой стороны ряд других цветов. Он убедился, что подобные ярко окрашенные пятна фигуры, линии или крапинки имеются там, где находится вход в сокохранилище. Отсюда он сделал следующий вывод: „Если венчик окрашен в определенном месте в яркий цвет ради насекомых, то он вообще окрашен ради них. И если особенно яркая окраска одной какой-нибудь части венчика служит для того, чтобы севшее на цветок насекомое могло легко найти правильную дорогу к соку, то окраска всего венчика служит для того, чтобы цветы уже издали бросались насекомым в глаза в качестве сокохранилищ“.

Изучая некоторые виды ириса, Шпренгель нашел, что их цветы могут быть оплодотворены лишь при помощи насекомых. Занявшись исследованием вопроса, не имеют ли такого же строения и другие цветы, он убедился, что многие, а, может быть, и все выделяющие сок цветы оплодотворяются насекомыми, питающимися их соком. „В таком случае,—говорит он,—эта пища по отношению к насекомым является конечной целью, по отношению же к цветам только средством для оплодотворения их“.

Дальше Шпренгель открыл, что иногда тычинки развиваются раньше чем пестики,—наблюдение это он впервые сделал на узколистном кипрее (*Epilobium angustifolium*). Противоположное наблюдение он сделал на обыкновенном молочае (*Euphorbia Cyparissias*). Он нашел, что у этого растения из цветка появляется сперва столбик, когда еще совершенно не видно тычинок. В это время тычинки находятся еще у основания венчика и не содержат еще созревшей пыльцы. Через несколько дней они высовываются и рассыпают свою пыльцу. Насекомые, садящиеся на более старый цветок, покрываются этой пылью. Когда затем они посещают более молодой цветок, то пыльца попадает там на рыльце и оказывает свое оплодотворяющее действие¹.

Неодновременное развитие тычинок и пестиков—так называемая дихогамия—представляет собой, как это показали все позднейшие исследования, самое обыкновенное и самое простое средство для воспрепятствования самооплодотворению гермафродитного цветка.

¹ Позднейшие исследования подтвердили в основном эти наблюдения, но, кроме того, оказалось, что у молочая в случае непосещения его насекомыми происходит самопроизвольное самоопыление.

Если пыльники раскрываются тогда, когда рыльце еще не развито, то растение называется протандрическим. Если рыльце созревает раньше пыльцы, то оно может получить лишь пыльцу более старых цветов. В этом случае растение называется протогиническим. Исходя из изложенных в предыдущем вкратце открытий, Шпренгель построил теорию, что все строение выделяющего сок растения приспособлено к опылению его насекомыми.

Большой интерес представляют также рассуждения Шпренгеля о его радикально отличном от традиции методе занятия ботаникой. Тот, кто достает цветы на поле и исследует их в комнате, никогда не поймет плана природы, заложенного в строении цветов. Растения надо, наоборот, изучать там, где они произрастают, и обратить внимание на то, посещаются ли они насекомыми и какими именно, исследовать, как ведут себя эти насекомые, прикасаются ли они к пыльникам или к рыльцу. Словом, следует поймать природу на месте преступления.

О том, как Шпренгель вскрывает во всех его деталях одно из известнейших приспособлений этого рода, показывает его исследование кирказона (*Aristolochia Clematidis*), одного часто встречающегося в горных местах и отличающегося протогиническим устройством растения. Шпренгель почти всегда находил маленьких мух в котле (рис. 20, *k*) направленных вверх цветов *A*, между тем как в котле свешивающихся книзу цветов *B* не было ни одной мухи. Шпренгель сперва полагал, что внутренняя поверхность венчика гладка, так что, когда цветок свешивается вниз, насекомые выпадают из него. Однако, когда догадка эта не подтвердилась, он решил разрезать венчик. Тут он увидел, „что венчиковая трубка направленных кверху цветов покрыта внутри твердыми, нитеобразными волосками. Волоски эти обращены своими концами, не к отверстию венчика, а к котлу, и образуют как бы преграду, через которую мухи могут легко проникнуть в котел, но не могут выбраться из него обратно. Наоборот, в свисающих

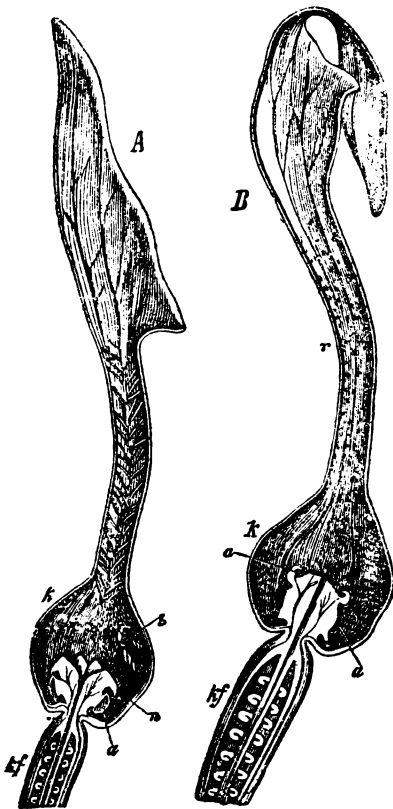


Рис. 20. Цветок кирказона.
A. До опыления.
B. После опыления ¹.

свисающих вниз, насекомые выпадают из него. Однако, когда догадка эта не подтвердилась, он решил разрезать венчик. Тут он увидел, „что венчиковая трубка направленных кверху цветов покрыта внутри твердыми, нитеобразными волосками. Волоски эти обращены своими концами, не к отверстию венчика, а к котлу, и образуют как бы преграду, через которую мухи могут легко проникнуть в котел, но не могут выбраться из него обратно. Наоборот, в свисающих

цветах волоски уже успели завясть. Благодаря этому темница оказалась как бы раскрытой, и мухи не замедлили выйти на свободу“.

Шпренгель показал, что цветок *Aristolochia* проходит три последовательные стадии развития. Достигнув известной величины и раскрывшись, цветок как будто начинает цвести, но в действительности он неспособен быть оплодотворенным, потому что ни тычинки его еще окончательно не созрели, ни рыльце вполне не развилось. В этом состоянии цветок ловит некоторое количество мух, которые оплодотворяют его во второй стадии его развития. По достижении природой этой цели цветок переходит в третье состояние. Цветок поворачивается вниз, маленькая преграда из волосков исчезает, и мухи получают снова свободу. Шпренгель не заметил, однако, что у кирказона имеет место опыление чужим цветком: действительно, освобожденные и покрытые пылью насекомые опыляют успевшее созреть рыльце другого цветка, находящегося в более ранней стадии развития. Впрочем Шпренгель первый обратил внимание на явление перекрестного опыления у других растений и указал, что дихогамия есть вернейшее средство для достижения такого опыления. „Так как,—говорит он,—многие цветы раздельнополы, а многие гермафродитные цветы дихогамны, то повидимому, природа не желала, чтобы какой бы то ни было цветок оплодотворялся своей собственной пылью“¹.

Из ряда удивительных приспособлений, которые Шпренгель открыл и объяснил вышеуказанной целью, мы укажем здесь на любопытные свойства цветов барбариса, лугового шалфея (см. рис. 21) и орхидей.

У барбариса по описанию Шпренгеля тычинки при прикосновении к ним насекомого движутся по направлению к пестику. Шпренгель думал, что это явление связано с самоопылением, между тем как в действительности посещающее цветок насекомое покрывается пылью и переносит ее на другой цветок.

Строение цветка и приспособления для опыления у орхидей Шпренгель исследовал подробным образом на широколистном яртышнике (*Orchis latifolia*). Он показал, что пыльцевые мешки

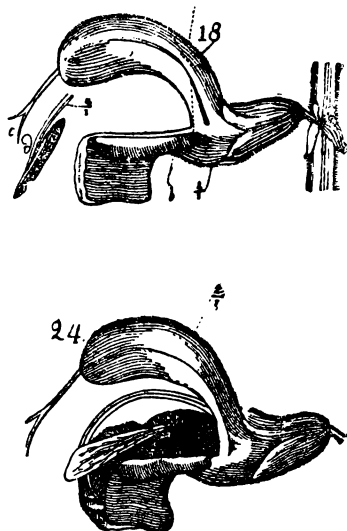


Рис. 21. Рисунок Шпренгеля, изображающий оплодотворение лугового шалфея (*Salvia pratensis*).

18. Цветок в естественном положении.
24. Цветок в момент посещения, опыления и оплодотворения его шмелем. При этом насекомое, придавив тычинки и касаясь их спинкой, снова покрывается пылью, которую оно переносит на другое рыльце“².

¹ Ostwalds Klassiker, № 48, стр. 56.

² Ostwalds Klassiker, № 48, стр. 73 ■ сл.

у него защищены от дождя и скрыты в двух гнездах. Невозможно, чтобы они сами выпали из этих гнезд или чтобы ветер выдул их оттуда. Вводя былинку в цветок орхидеи, Шпренгель с удивлением заметил, что таким образом можно оттуда извлечь пыльцевой мешок. „Это уже мешок с пыльцой (Anthere),—говорит он,—но пыльником его еще нельзя назвать, так как мешок не имеет оболочки вокруг себя, а состоит из одной лишь пыльцы“. Самого процесса опыления Шпренгелю не удалось наблюдать. Он предполагал, что опыление совершается благодаря мухам, между тем как в действительности здесь происходит перекрестное опыление при помощи пчел.

Шпренгель справедливо называет одним из замечательнейших приспособлений природы тот факт, что, пчелы в поисках для себя пищи одновременно—не желая и не зная того—оплодотворяют цветы, обеспечивая таким образом свое собственное существование и существование своего потомства.

Что касается других насекомых, то опять-таки Шпренгель первый обратил внимание на взаимоотношения между муравьями и растениями. Мы можем утверждать, что именно он открыл явление, называемое теперь мирмекофилией. Шпренгель описал его на призаборной вике (*Vicia sericum*). Он наблюдал, что сок у этого растения выделяется не только цветами, но и черешками, и что крупные лесные муравьи—любители его сока. Поэтому при исследовании растения на месте его произрастания сок этот можно найти лишь редко. Если же взять несколько стеблей домой и посадить их в воду, то через несколько дней черешки оказываются полными сока.

Ботаники, придерживавшиеся догмата о постоянстве видов, совершенно не знали, как подойти к этим удивительным явлениям, поэтому предпочитали обходить их молчанием. Лишь тогда, когда отказались от этого догмата, снова ожил интерес к биологическому исследованию цветов, оказавшему существенную поддержку учению о постепенном развитии видов.

Шпренгель исследовал также растения, оплодотворяемые ветром. Так он указал на то, что у анемоновых должно изготовляться гораздо больше пыльцы, чем это требуется непосредственно для оплодотворения. Действительно, ветер не во всякое время переносит пыльцу прямо на женские органы цветка и притом переносит не каждое зернышко пыльцы как раз на тот цветок, который еще не оплодотворен. Кроме того, дождь не только вымывает много пыльцы из пыльников, очень доступных его действию у подобных цветов, но также прибывает к земле уже улетающую и носящуюся в воздухе пыльцу. Для примера Шпренгель приводит сосны, дающие так много пыльцы, что во время их цветения, по народному выражению, иногда идет серый дождь.





VII

УСПЕХИ ЗООЛОГИИ В XVIII ВЕКЕ

Описываемая нами эпоха является также периодом преобладания систематики и в области зоологии. Но в это же время множатся попытки уяснить себе строение, образ жизни и развитие животных, особенно низших. Тогда как, например, систематики XVII в.—и среди них такие ученые, как Рей¹,—считали кораллы растениями, в 20-х годах XVIII в. впервые была высказана гипотеза (встреченная, правда, насмешками со стороны тогдашних зоологов), что мнимые цветки полипняков—это животные, а твердые части их, подавшие повод для наименования их „каменными растениями“, представляют собой продукты их выделений. Еще сам Линней колебался насчет того, можно ли признать зоофитов животными.

Первым ученым, выдвинувшим ряд весьма убедительных доводов в пользу того, что эти организмы являются животными, был француз Пейссоннель (Peyssonnel). В 20-х годах XVIII в. он произвел на побережья Южной Франции и северной Африки тщательные исследования над живыми полипняками и показал, что все проявления жизни их мнимых цветов несовместимы с допущением, что мы имеем здесь перед собой растения.

ОПЫТЫ НАД НИЗШИМИ ЖИВОТНЫМИ

Яркий свет на этот вопрос был пролит лет двадцать спустя работами Трамблея (Trembley) (1710—1784), которые, по словам К. Э. фон-Бэра, открывают новую эпоху в истории физиологии. Трамблей производил свои опыты на одном родственном кораллам и губкам обитателе наших континентальных вод, именно на пресноводном полипе. Мы здесь приведем некоторые из полученных Трамблеем результатов, именно те, которые относятся к необычайной способности этого животного к регенерации.

Если пресноводного полипа разрезали поперек на две, три или более частей, то через короткое время из каждой части возникал новый целый полип. У средних кусков, которые были похожи на

¹ Джон Рей (1628—1705), выдающийся систематик XVII в., придерживавшийся, однако, еще во многом взглядов Аристотеля.

открытую с обеих сторон трубку, один конец ее закрывался, противоположный же конец превращался в ротовое отверстие, вокруг которого вскоре образовывался венец из нововозникших щупальцев. Если полипа рассекали в длину, то получались два лоскута кожи, превращавшиеся вскоре в трубки: края лоскутов складывались и срастались, так что из половинок полипа снова получались целые животные.

Вслед затем Трамблей распорол полипа, растянул его и разрубил на множество мелких кусков. Все эти кусочки—независимо от того, имели ли они щупальцы или нет,—стали снова целыми полипами. Самый поразительный эксперимент Трамблея заключался в том, что он вывернул пресноводного полипа наизнанку, как перчатку. Опыт этот мы опишем словами самого Трамблея: „Я начинаю с того, что даю полипу, которого я хочу вывернуть, червяка в пищу. Когда полип проглотил червяка, я начинаю сдавливать его с заднего конца и гоню таким образом червяка из желудка по направлению к ротовому отверстию, пока из него не выйдет кусок червяка. После этого я беру довольно толстый и тупой свиной волос, помещаю его у заднего конца полипа и придавливаю к желудку, который здесь пуст и очень расширен. Затем я продолжаю давить на волосок, проталкивая его все дальше вперед. Чем более он продвигается вперед, тем более выворачивается полип. Когда волосок доходит до червяка, державшего открытым рот полипа, то он либо выталкивает его, либо вместе с ним выходит изо рта и оказывается теперь покрытым задней частью полипа, который таким образом выворачивается наизнанку. Теперь уже нетрудно отделить его от свиного волоска.

„Лишь только это произошло, как рот полипа закрывается. Затем губы начинают поворачиваться наружу, как если бы полип хотел снова вывернуться и притти в свое первоначальное состояние. Действительно, он пытается это сделать, и часто ему это удается. Поэтому моей главной задачей было сохранять полипа вывернутым, чтобы увидеть, сможет ли он жить и в таком состоянии. Верное средство для этого заключается в том, чтобы проткнуть вывернутое животное свиным волоском непосредственно за головой. Я это делал с вывернутыми полипами, и это не мешало им ни есть ни размножаться“.

Эти опыты Трамблея означали перенесение экспериментальных методов исследования в такую область знания, которая только-только стала доступной простому описанию. Один новейший исследователь, избравший пресноводного полипа объектом для превосходной монографии¹, говорит о Трамблее, что ни один из его преемников не сумел повторить его исследований во всей их полноте. Существенным прогрессом по сравнению с его работами является лишь доказательство полового размножения этих животных. Правда, Трамблей наблюдал органы, производящие яйца и семена, но он не понял их значения. Что касается процесса почкования (см. рис. 22), то его наблюдал у пресноводного полипа уже Левенгук².

¹ N. Kleinenberg, Hydra, Eine anatomisch-entwicklungsgeschichtliche Untersuchung, Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1872.

² См. т. 2.

Начатое опытами Трамблея изучение явлений регенерации Спалланцани перенес на высших животных (Спалланцани „О регенерации утраченных частей тела и о размножении“). Итальянский исследователь показал на примере саламандры, что и это животное обладает совершенно исключительной способностью к регенерации. Если у него удаляли глаза, нижнюю челюсть или конечности, то они в течение короткого времени восстанавливались в первоначальном виде. Это повторялось и тогда, когда удаляли вновь возникшие органы.

К опытам над способностью к регенерации прибавились уже в XVIII в. и другие опыты, показывавшие исключительную способность низших организмов сопротивляться физическим воздействиям. Так, например, Спалланцани подвергал яйца шелкового червя в течение многих часов действию температуры в 40° , причем они сохраняли жизнеспособность, а Бонне¹ наблюдал, что и взрослые насекомые, внутренность которых насквозь промерзла, оживали при оттаивании. Паллас указал на то, что даже рыбы в сибирских озерах, промерзающих до дна, не погибают, а при медленном оттаивании снова оживают.

Другие исследования были посвящены вопросу о временном прекращении явлений жизни благодаря высыханию. Ими занимались Нидгем (Needham), Спалланцани, Фонтана (Fontana) и другие ученые. Фонтана высушил полипа на стеклянной пластинке и держал его все лето на солнечном свете. Полип выглядел, как высушенный кусок глины, но при погружении его в воду ожил.

ОТКРЫТИЯ, СДЕЛАННЫЕ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЖИВОТНЫХ

Открытая Левенгуком область микроскопического исследования наливочных или „инфузорий“ разрабатывалась в течение XVIII в. скорее любителями микроскопии, желавшими этим „развлечься“, чем настоящими зоологами. Благодаря этому все же необычайно обогатилось знание как форм, так и жизни низших животных. Таким образом возникли „Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen“. („Микроскопические забавы для души и для глаз“) Ледермюллера², богато иллюстрированная книга, которая, подобно „Arcana naturae“

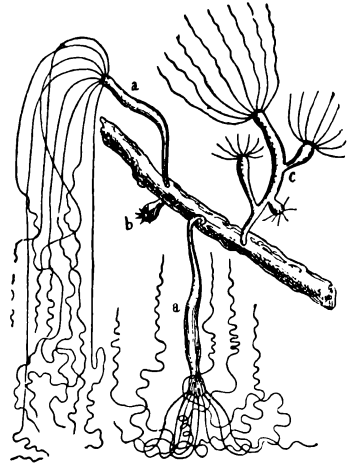


Рис. 22. Пресноводный полип с почками (с) на водяном растении.

¹ „Oeuvres d'histoire naturelle“, 1779, IV, 12.

² Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen, Nürnberg 1763.

Левенгука, не преследуя определенной цели, трактовала обо всем, что возбуждало любознательность микроскописта-дилетанта. Тем не менее в книге Ледермюллера содержится немало важных

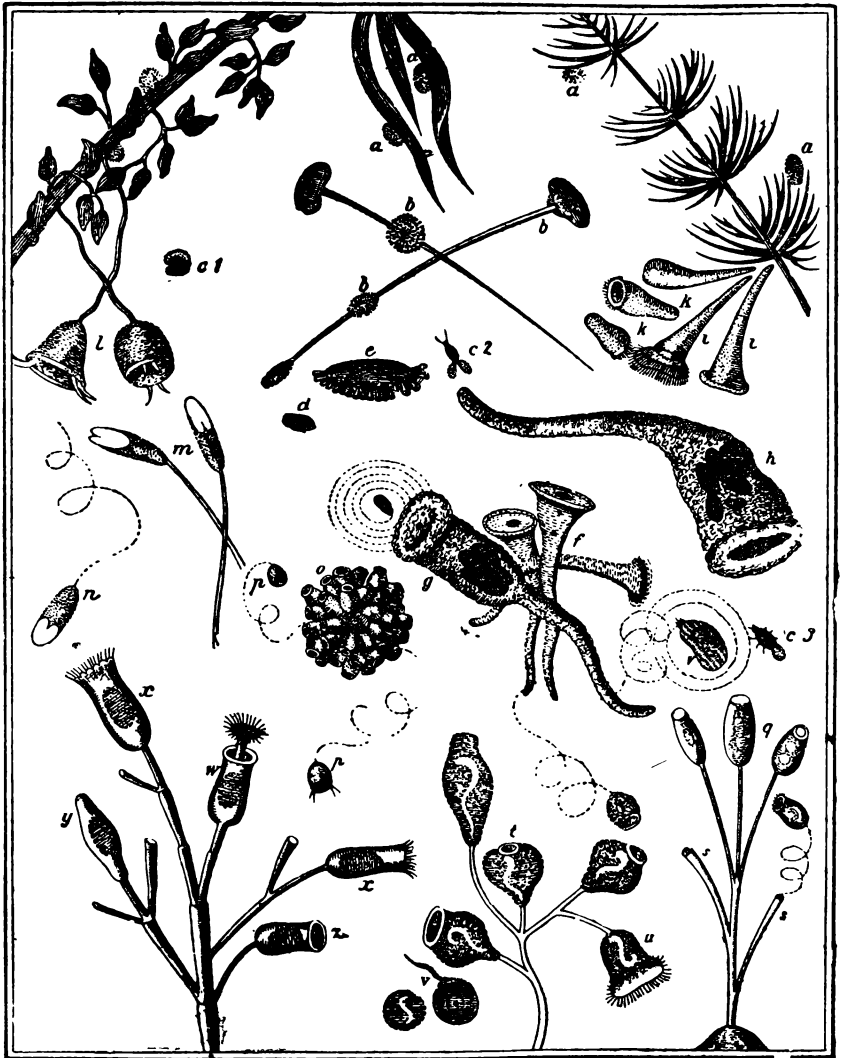


Рис. 23. Рисунок Ледермюллера, изображающий инфузорий.

открытий. На приложенных к ней таблицах мы можем видеть изображенными в пестром беспорядке плесневые грибки, кристаллы, клейстерных угриц, волосы, потовые отверстия кожи, червей, жала, челюсти насекомых и т. д. Ледермюллер (1719—1769) исследовал

также нервы, которые он называет „страшными орудиями пытки людей“. Ледермюллер опровергает утверждение, будто нервы представляют полые трубки. По его словам, Петербургская академия тоже занималась в 1727 г. вопросом о строении нервов. Она исследовала даже нервы слона и нашла, что они не полы и не на много толще, чем нервы других млекопитающих.

С особенным интересом изучал Ледермюллер наливочных животных, которым именно он дал название инфузорий. На рис. 23 воспроизведена одна из таблиц его книги, изображающая несколько принадлежащих к родам *Stentor* и *Vorticella* видов инфузорий, названных их свирельными (*i, k*) инфузориями, колокольчатыми (*l*) и т. д.

Рядом с *Gemüts- und Augenergötzen* Ледермюллера можно поставить „*Insektenbelustigungen*“ („Забавы, доставляемые насекомыми“) Розенгофа (*Rosenhof*). Резель фон-Розенгоф (1705—1759) был по профессии гравером. Он жил в Нюрнберге и, подобно Сваммердаму, с большим упорством и настойчивостью занимался изучением строения и образа жизни мельчайших организмов, в особенности насекомых. Подобно многим другим естествоиспытателям XVIII в., Розенгоф руководился при этом стремлением найти в чудесах, столь обильно рассыпанных в мире низших организмов, доказательство мудрости и благодати творца.

В то время как большинство зоологов ограничивалось при изучении насекомых описанием их внешней формы и заботилось лишь о том, чтобы отвести каждому виду надлежащее место в системе, Розенгоф, как до него Реомюр, интересовался главным образом вопросом о развитии и образе жизни насекомых. Поэтому работа его стала для всех следующих поколений одним из важнейших источников по рассматриваемому вопросу. Она была озаглавлена „*Monatlich herausgegebene Insektenbelustigung*“ („Ежемесячник развлечений, доставляемых насекомыми“) и выходила с 1746 г. Особенную ценность этому четырехтомнику придают приложенные к нему многочисленные в несколько красок гравюры. Они передают насекомых с такой точностью, какая не превзойдена и в наше время.

Розенгоф составил далее естественную историю лягушек. Это произведение отличается также не столько новыми сведениями о местоположении этой группы в системе, сколько многочисленными тонкими наблюдениями над развитием и образом жизни лягушек.

Ознакомившись с работой Трамблея о пресноводных полипах, Розенгоф решил проверить результаты ее. Он не только подтвердил наблюдения Трамблея, но сообщил еще очень много нового о различных видах полипов, дав рисунки их в великолепных таблицах. Резель озаглавил соответствующий отдел своей книги „*Historie der Polypen und anderer kleiner Wasserinsekten*“¹ („История полипов и других мелких водяных насекомых“). Он сообщает здесь также сведения о наядах, особых, живущих в пресной воде червях, которые по его наблюдениям не только могут быть умножены путем разрезывания их, но и размножаются путем самопроизвольного деления.

¹ См. *Röse*, *Insektenbelustigungen*, ч. III, стр. 433 и сл.

Далее мы встречаем у него одно из первых описаний амебовидного движения, которое мы передадим здесь с относящимися к нему рисунками (рис. 24). Рэзем описывает здесь амёбу под названием протей в следующих выражениях: „Мой протей — очень маленькое животное. Он перемещается крайне медленно с одного места на другое, причем все время меняет свой вид. Я наблюдал довольно много этих животных под сложным микроскопом и тщетно пытался найти у них какую-нибудь определенную форму или заметить что-нибудь, что походило бы на голову, хвост или конечности.

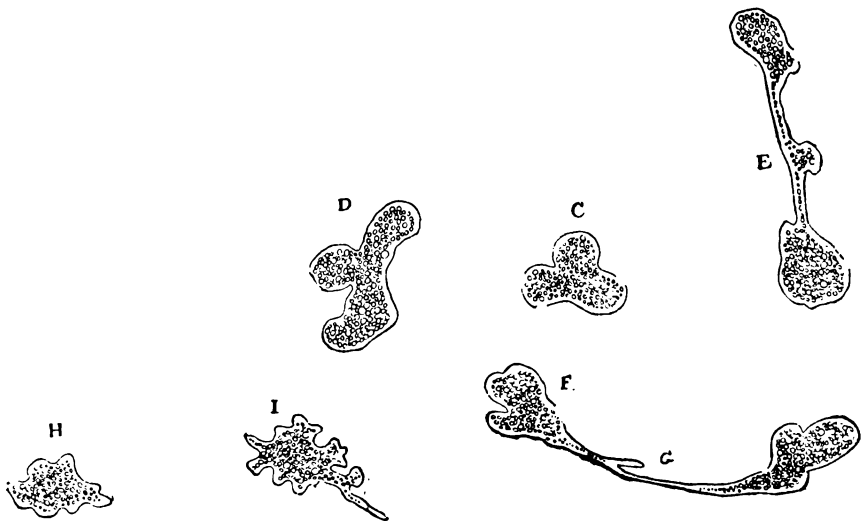


Рис. 24. Изображение Рэзелем фон-Розенгофом движения и деления амёбы (передано по таблице 101 третьей части его „Развлечений, доставляемых насекомыми“).

Наконец я стал следить за одним из этих животных и заметил следующее: животное состояло из одних только зерен различной величины. Сохраняя некоторое время форму шара, оно приняло затем форму, изображенную на рисунке буквой *C*, т. е. походило на лист клевера. Но не прошло и полминуты, как оно приняло форму, изображенную на рисунке буквой *D*. Вскоре затем оно вытянулось в длину, как это показано на рисунке буквой *E*. Это удлинение продолжалось так долго, что казалось, будто животное собирается разделиться на две части. Это вскоре и произошло, причем обе части *F* и *F* разделились у *G*. И вот вместо одного животного я увидел перед собою два, из которых каждое вскоре приняло другую форму, как это показывают *H* и *I*¹.

В эту эпоху с большим интересом обсуждался также вопрос о возникновении мельчайших организмов. Одни исследователи для объяснения столь загадочного существа инфузорий снова обрати-

¹ Insektenbelustigungen, ч. III, стр. 622.

лись к опровергнутому уже Сваммердамом и Реди по отношению к насекомым учению о самопроизвольном зарождении. В противоположность этому, Спалланцани (1729—1799) защищал теорию размножения при помощи яиц и зародышей. Эти последние по его мнению находятся в веществах, употребляемых для изготовления настоев¹. Но так как обнаружить этих зародышей было крайне трудно, то учение о самопроизвольном зарождении удержалось до самого XIX в., тем более, что в лице Бюффона оно нашло себе авторитетного и ревностного защитника. Окончательно опровергнуто оно было только опытами Пастера (Pasteur). В другом сочинении мы перепечатали работу этого исследователя, из которой читатель может также познакомиться со спором, ведшимся в XVIII в. между Спалланцани и его противниками².

Для низших растений, например грибов и лишаяев, Цезальпин³ принимал самопроизвольное зарождение. „У многих растений, — говорит Цезальпин, — нет вообще семян. Они возникают только благодаря гниению и представляют нечто среднее между растениями и неживой природой“. Однако Юнгий, самый просвещенный ботаник XVII в.⁴, на работы которого опирался в своих исследованиях Линней, сомневался в правильности этого учения. Что касается самого Линнея, то он полагал, что „и на низших ступенях растительного мира имеются цветы и плоды, хотя ввиду своих малых размеров они не заметны для нас“. Этим объясняется принятое Линнеем для низших растений название криптогамных (тайнобрачных). Только в новейшее время удалось выяснить процесс размножения тайнобрачных.

ЭВОЛЮЦИЯ И ЭПИГЕНЕЗИС

Наряду с учением о самопроизвольном зарождении, в биологии в XVIII в. была распространена еще другая ошибочная теория, которая нам в настоящее время кажется еще более странной, чем учение о самозарождении. Мы имеем в виду так называемую эволюционную теорию (или теорию вложенных зародышей), защищавшуюся великим анатомом и физиологом Альбрехтом фон-Галлером (Haller). Изучение процессов оплодотворения и развития вызвало потребность в объяснении этих явлений. Эволюционисты допускали, что яйцо содержит полный зачаток того существа, которое выйдет из него. Отсюда философы и естествоиспытатели XVIII в. сделали правомерно тот вывод, что яйцо должно заключать в себе также зачатки ближайшего и всех вообще дальнейших поколений.

Эта эволюционная теория, которой так резко противоречили полученные Кельройтером при его опытах гибридизации растений результаты, была окончательно опровергнута Вольфом (Wolff) в его

¹ Spallanzani, Entstehung der Infusionstiere aus Keimen durch Experimente bewiesen, 1765.

² Dannemann, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 1922, отдел 77.

³ См. т. 2.

⁴ Юнгий родился в 1537 г. в Любеке и умер в 1657 г.

„Theoria generationis“¹ (1759). Работы Вольфа положили начало современной эмбриологии, которая рассматривает возникновение организма как процесс роста и пытается объяснить его отчасти историей развития вида, отчасти же механическими причинами.

Каспар-Фридрих Вольф родился в 1733 г. в Берлине. Еще молодым врачом он с особенным жаром занимался анатомией и ботаникой. В Галле он попал под влияние последователя Лейбница, Христиана Вольфа. Благодаря этому он в своих естественно-научных исследованиях нередко руководствовался чисто априорными теориями и выводил из неточных и недостаточных наблюдений далеко идущие философские обобщения. Так как Вольф не был оценен по достоинству в Пруссии (его неоднократно обходили при назначении профессоров на университетские кафедры), то в 1766 г. он последовал подобно Эйлеру приглашению Петербургской академии наук. И в России Вольф продолжал заниматься проблемами анатомии и эмбриологии. Особенно следует отметить его исследование развития кишечника. После замкнутой, посвященной исключительно науке жизни он умер в Петербурге в 1794 г.

В своей „Theoria generationis“ Вольф исходит из растений, чтобы „указать таким образом ариаднину нить, которой следует придерживаться при рассмотрении гораздо более сложных зоологических проблем“. Его исследования о строении и развитии растений имели большое значение для истории анатомии растений. Впервые после создания этой дисциплины Мальпиги и Грю нашелся снова ученый, который стал основательно заниматься этими вопросами. Несмотря на ряд допущенных Вольфом ошибок, некоторые из сделанных им обобщений были таковы, что обеспечили его работе длительное значение. Благодаря Вольфу интерес ученых был привлечен к вопросу о возникновении клеточного строения растений, хотя данное им самим решение его было неверно. Действительно, Вольф допускал, что вещество растения в вегетативной точке первоначально студнеобразно. Из этого студня выделяются маленькие пузырьки, увеличивающиеся таким образом, что находящееся между пузырьками вещество принимает впоследствии вид сплетения из клеточных стенок. Рост растения происходит благодаря увеличению пузырьков и благодаря тому, что между старыми пузырьками возникают новые, которые в свою очередь тоже увеличиваются в размерах. Вольф замечает совершенно правильно, что волокна и сосуды не имеются уже в готовом виде в зачатке. Молодые части растения состоят из однородной субстанции без каких бы то ни было пузырьков. На этом последнем ошибочном наблюдении Вольф построил неверную теорию образования клеток, согласно которой клетки образуются примерно так, как ноздреватость в хлебе из первоначально сплошного теста, хотя, правда, с тем отличием, что в растениях пустоты заполняются накапливающимся в них питательным

¹ Переведена и издана д-ром П. Самасса (Samassa) в виде 84-го и 85-го томов оствальдовской серии классиков точного знания, Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1896.

соком. Об этом соке Вольф говорит, что он „пролезает через вещество пузырьков“ и что он даже „способен так же легко проникнуть в твердое вещество растения, как это делается с помощью сосудов“. Таким образом для объяснения движения соков в растении он обращается к тому явлению, которое мы в настоящее время называем диффузией. Подобно тому как клетки возникают путем увеличения покоящейся капельки питательного сока, так сосуды возникают благодаря движению такой капли через первоначально однородную основную субстанцию. „Капелька жидкости, — говорит Вольф¹, движущаяся через твердое вещество и сама прокладывающая себе дорогу, не может оставить после себя шарообразного следа; она образует скорее канал, который согласно теории Вольфа сохраняется вследствие способности питательного сока к затвердеванию“. Эту способность питательного сока к затвердеванию Вольф приписывал не только растительной, но и животной субстанции. Она вместе с особой „существенной силой“, как Вольф называл свой формообразующий принцип, объясняет процесс развития органических существ. „Существенная сила“ — это по Вольфу та сила, благодаря которой в организме распределяются и выделяются жидкости. „Существенная сила, — говорит он, — и способность питательного сока к затвердеванию являются принципами, достаточными для объяснения процесса развития как у растений, так и у животных“.

Из этого согласия между обоими царствами природы Вольф за сто лет до признания Шванном (Schwann) универсального характера клеточного строения живых существ сделал тот вывод, что как у животных, так и у растений не только имеется клеточная ткань, но что она и развивается одинаковым образом. Хотя Вольф, как мы видели, и не составил себе правильного представления о процессе образования клеточной ткани, но он совершенно справедливо замечает, что клеточная ткань животных образована точно таким образом, как клеточная ткань и пузырьки растений².

Для иллюстрации своей теории Вольф берет в качестве типичного примера (как это сделал впоследствии и Шванн) кости. „Их внутреннее строение, — говорит он, — клеточное, и они возникают таким же образом, как и всякая другая клеточная ткань“.

Главной задачей Вольфа при исследовании организма животных было опровергнуть учение эволюционистов, будто органы существуют уже изначально и остаются скрытыми от нашего взора только вследствие их крайней малости. Ошибочность этой теории по его справедливому замечанию обнаруживается уже в том обстоятельстве, что части, из коих состоят все животные органы в их первом зачатке, представляют собой шарики, которые можно различить уже микроскопом средней силы. „Как можно утверждать, — восклицает он, — будто нельзя видеть какого-нибудь тела из-за его малости, если можно превосходно отличить части, из которых оно состоит?“

¹ Ostwalds Klassiker, № 84, стр. 18.

² Ostwalds Klassiker № 85, стр. 12.

На приложенном ниже рис. 25, взятом из „Theoria generationis“ Вольфа, изображен куриный зародыш через 36 час. после того, как

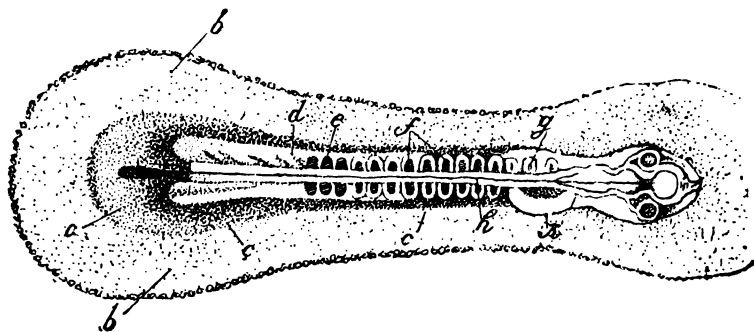


Рис. 25. Рисунок Вольфа, изображающий зародыш

курица села на яйца. На рисунке можно разглядеть¹ части мозга, глаза с зрительными нервами, спинной мозг (*h*), сердце (*k*), передние, уже отчетливо видимые (*f*), и задние, только выделяющиеся, позвонки (*e* и *d*). Питательные элементы зародыш получает из яйца, желток которого разлагается и разрушается теплотой. Для этого, — говорит Вольф, — необходима, как и у растений, движущая питательные соки „существенная сила“. Эта сила и это движение жидкостей существуют также и во взрослом организме; в пользу этого говорит, например, рост ногтей и волос. К этой силе присоединяется затем второй формообразующий принцип, способность молодых студнеобразных тканей к затвердеванию, — способность, которая у животных, правда, слабее, чем у растений.

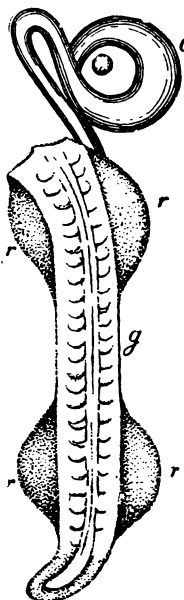


Рис. 26. Рисунок Вольфа. Возникновение сердца и конечностей.

Сосуды зародыша животного образуются, согласно Вольфу, таким же образом, как и у растений. Движущиеся жидкости прокладывают себе дорогу там, где они встречают меньшее сопротивление. Первый зачаток главного корня всех сосудов — сердца — мы можем видеть на приложенном ниже, взятом из „Theoria generationis“ рисунке (рис. 26). На нем можно распознать также первые зачатки конечностей, выступающих в виде бесформенных бугров (*r*) из остальной массы. Конечности тоже состоят из субстанции, которую Вольф называет клеточной. Вначале они лишены сосудов, которые вырастают у них из возникающей раньше всего главной артерии или аорты.

Вольф особенно напирает на то, что почки возникают лишь после того, как образовался позвоночный столб. Он показывает,

¹ Справа налево.

что почки происходят из клеточной ткани, появляющейся лишь на третий день развития под позвоночным столбом. Легко установить, что в этой ткани первоначально нет и следа какого-нибудь органа, так как она совершенно прозрачна.

Благодаря этим наблюдениям эволюционная теория, главным защитником которой был Галлер, но которая поддерживалась также из философских соображений Лейбницем, была окончательно опровергнута Вольфом, избравшим единственно правильный путь для такого опровержения. Чтобы решить спорные вопросы, он обратился к самой природе и впервые обстоятельно исследовал отдельные органы зародыша с точки зрения их формы и времени возникновения. На основании своих наблюдений он пришел к убеждению, что части организма не преформированы и не развиваются одновременно, а возникают одна за другой из некоторой однородной клетчатой субстанции. Несмотря на многочисленные ошибки наблюдений Вольфа, им все же была заложена основа для всех позднейших эмбриологических исследований. Вольф является, таким образом, основателем современной эмбриологии, и слава этого навсегда останется за ним.

Вольф высказал также мысль о метаморфозе растений. Более подробно этот вопрос, а также развитие учения о метаморфозе у Гете и других исследователей будут рассмотрены нами в другом месте.

ФИЗИОЛОГИЯ И ЕЕ ОТНОШЕНИЕ К АНАТОМИИ И МЕДИЦИНЕ

Хотя вопрос о сущности зарождения и развития животных имел огромное значение, но все же он был только одной из многих проблем, занимавших физиологов XVIII в. Ведь в эту эпоху действовал великий физиолог Галлер, около которого можно сгруппировать всех исследователей, содействовавших развитию физиологии в указанный период.

Альбрехт фон-Галлер родился 16 октября 1708 г. в Берне. Он рано осиротел и вырос у врача, которому был обязан своей склонностью к естествознанию и к приложениям его к медицине. Галлер изучал в Тюбнгене анатомию и ботанику под руководством Камерария. Затем он жил в Лейдене, где на него оказал огромное влияние Бургав, а также в Лондоне и Париже. Потом Галлер читал в Базеле и Берне лекции по анатомии, после чего переехал (1736 г.) в Геттинген. Здесь он развернул совершенно исключительную деятельность. В 1753 г. он вернулся в свой родной город, где и умер 12 декабря 1777 г. В Геттингене Галлер читал в новооснованном университете лекции по ботанике, анатомии и хирургии, создал анатомическую коллекцию и основал ботанический сад, руководство которым взял на себя. Он основал Геттингенское королевское научное общество и собрал вокруг себя многочисленных учеников, развивавших науку в указанном им направлении.

Галлер всегда руководился мыслью, что анатомия является важнейшей основой физиологии, и притом анатомия не только человека, но и животных.

Далее Галлер придал эксперименту на живом животном такое значение, какого он не имел до него. „Сколь жестокой ни кажется нам вивисекция, — говорит Галлер, — но не следует забывать, что для физиологии она полезнее всех прочих методов и что один единственный подобный эксперимент часто кладет конец самым закоренелым заблуждениям“.

Проникнутый мыслью, что для исследования функций организма надо быть знакомым с его строением, Галлер сделал много ценных работ по сравнительной анатомии. О значении этой науки для физиологии он пишет следующее: „Я ежедневно убеждаюсь, что нельзя составить себе правильного представления о деятельности большинства органов живого тела, если не выяснить себе вполне строения соответствующего органа. А для этого нельзя ограничиваться изучением одного только человека, а надо исследовать различных четвероногих, птиц, рыб, часто даже низших животных“.

Важнейшим обобщением, к которому пришел Галлер на основании этих исследований, было учение о раздражимости и чувствительности. Он считал их особыми, радикально отличными от физических сил способностями живого существа. Как мы видели, Борелли приписывал деятельность мышц упругости этих органов. Галлер, наоборот, считал способность мышц сокращаться присущим им свойством и называл эти органы раздражимыми. Хотя обыкновенное раздражение, вызывающее сокращение мышц, исходит от нервов, но на его место могут стать и другие раздражения. Последние, как показал экспериментально Галлер, могут вызвать сокращение мышцы даже тогда, когда прервано сообщение с нервами.

Подобно тому как раздражимость связана исключительно с мышцами, так чувствительность встречается только в нервах. Она сообщает сознанию изменения, вызываемые внешними раздражениями. Как это происходит, неизвестно, но Галлер склонялся к гипотезе о тонкой, движущейся в нервах жидкости, как это предполагал еще Мальпиги¹. Даже Кант сперва придерживался еще этого довольно грубого материалистического представления о возникновении ощущений². Галлер отказывается признать гораздо более правильное воззрение, согласно которому деятельность нервов заключается в колебательном движении. Нервы, указывает он, совершенно мягки, и их нельзя сравнивать, например, с натянутыми струнами. А если и допустить, что нервы могут колебаться, то нервные узлы помешали бы распространению этих колебаний. В теории Галлера о чувствительности нервов содержится уже в зародыше развитое впоследствии Иоганнесом Мюллером (Müller) учение о специфической энергии различных органов чувств. Особенно это обнаруживается в изложении Галлером физиологии глаза. Согласно Галлеру исходящие от предмета световые лучи образуют на сетчатке изображение, вызывающее раздражение зрительного нерва. Мы ощущаем не сам предмет, а впечатление, производимое им в зрительном

¹ См. т. 2.

² Hirsch, Geschichte der mediz. Wissenschaften, стр. 212.

нерве. Отсюда следует, что ощущения и опирающиеся на них представления имеют субъективный характер. Несмотря на это, Галлер не думал вовсе отрицать существование внешнего мира. Дело опыта, по его утверждению, составить из субъективного впечатления суждение о природе воспринимаемых предметов. С этим учением согласовались наблюдения, указавшие на то, что и механические раздражения разного рода способны вызвать световые ощущения. Как мы видели раньше, Мариотт, основываясь на своем опыте со слепым пятном, высказывался против теории, что сетчатка является местопребыванием световых ощущений. Но Галлер твердо придерживался этого старого, видящего еще Кеплером взгляда. Он справедливо указывал на то, что сосудистая оболочка, дающая по Мариотту начало акту зрения, совершенно лишена нервов. Сетчатка, наоборот, представляет собой сеть нервных волокон, которые и в остальных частях организма вызывают ощущения.

Особенное внимание Галлер уделил физиологии сосудистой системы и органа речи. Результаты его исследований по этим вопросам собраны в классическом произведении „*Elementa physiologiae corporis humani*“ („Элементы физиологии человеческого тела“), вышедшем в 1757 и следующих годах¹.

Галлер исследовал с особенной тщательностью сердечные клапаны и движение сердца и его жидкого содержимого. Далее он изучал движение и скорость крови в артериях, а также влияние, оказываемое стенками последних на кровяной поток, и многое другое.

Следует отметить опыты Галлера, посвященные доказательству того, что удары пульса происходят во всей артериальной системе одновременно. Однако Э. Г. Вебер (*Weber*), приложив свою теорию волн к учению о кровообращении, нашел, что такой полной синхроничности нет; но разница во времени составляет только дробь секунды. Галлер обосновывал свое утверждение следующим образом: „Если у человека положить правую руку на то место, где находится сердце, а левую на височную артерию или на подколенную артерию, то можно убедиться, что сердце ударяет в ребра в то самое мгновение, в которое оно вызывает пульсацию во всех названных артериях“².

Следует упомянуть также опыты Галлера, при которых он вводил в кровяной поток различные вещества, чтобы исследовать их физиологическое и терапевтическое действие. Этот метод инъекции появился уже в XVII в. после открытия процесса кровообращения. Но только Галлер вместе с одним из своих учеников впервые применили его к многочисленным химическим веществам (растительным ядам, кислотам, соединениям мышьяка, солям меди и т. д.). Вслед затем его стали применять с терапевтическими целями тог-

¹ Книги II—IV трактуют о сосудистой системе, книга IX — о механизме органа речи. О галлеровских „Элементах физиологии“ Гирш (*Hirsch*) говорит, что все современники Галлера и преемники его черпали из этой книги. По Крювелье (*Cruveilhier*) в этом произведении содержатся в зародыше многие новейшие открытия.

² *Haller, Elementa physiologiae, т. 4, § 42.*

дашние врачи, получивши, конечно, как не трудно понять, весьма неблагоприятные результаты. Во всяком случае метод этот заслуживает упоминания, ибо к нему по существу сводится выдвинутый в новейшее время и дающий гораздо более благоприятные результаты метод подкожных впрыскиваний.

Далее, основываясь неизменно на данных сравнительной анатомии и физики, Галлер исследовал весьма обстоятельно гортань и механизм голоса. Он указал не только на роль голосовых связок — что было сделано уже до него, — но установил с полной определенностью, каковы функции отдельных гортаневых хрящей, а также полостей рта и носа при образовании голоса.

Менее счастлив, чем в области физиологии, был Галлер в области эмбриологии. Здесь он явился одним из защитников странного эволюционного учения¹, согласно которому каждое нововозникшее существо как бы предобразовано (преформировано) уже в зародыше. Хотя Каспар-Фридрих Вольф уже в 1759 г. заменил теорию эволюции учением об эпигенезисе, т. е. о постепенном развитии органов из более простых частей (клеток и слоев клеток), но авторитет Галлера так укрепил эволюционную теорию, что взгляды Вольфа не могли восторжествовать. Они были почти совершенно забыты и были воскрешены лишь спустя полвека, после того как благодаря работам Меккеля, фон-Бера и других исследователей для эмбриологии настала новая эра.

Несмотря на это отрицательное отношение к Вольфу Галлер дал ряд ценных работ по эмбриологии сосудистой системы и костей („Sur la formation du coeur dans le poulet“, 1758).

В XVII в. анатомия сделала в Голландии огромные успехи благодаря Сваммердамму и Бургаву. Ученики великого лейденского анатома Бургава занимали кафедры в многочисленных университетах. В первой половине XVIII в. в Италии работал Моргани (Morgagni), создавший особую отрасль анатомии, именно патологическую анатомию². Основы этой новой дисциплины содержатся в его произведении „De sedibus et causis morborum“ („О местопребывании и причинах болезней“). В XVIII в. анатомия успешно развивалась и в Германии. Здесь приходится прежде всего назвать Либеркюна (Lieberkühn), перенесшего анатомическое искусство из Голландии в Германию. Либеркюн, ученик Бургава, переехал в 1740 г. в Берлин, где он стал членом Прусской академии наук. Эта корпорация тщетно старалась привлечь также великого физиолога Альбрехта фон-Галлера, чтобы сделать таким образом Берлин средоточием медицинских наук. Либеркюн был не только рьяным препаратором, он научил также немцев исследовать с помощью микроскопа более тонкое строение тканей животного. Он отлично манипулировал методом вливания в сосуды. Самое крупное научное достижение Либеркюна заключалось в открытии в кишечнике ворсинок, тех

¹ См. стр. 103 настоящего тома.

² R. Wirchow, Morgagni und der anatomische, Gedanke, Berlin 1894.

крохотных выступов на стенках кишечника, которые назвали впоследствии внутренними корнями животного¹.

Учеником и преемником Либержюна в Прусской академии был Иоганн-Фридрих Меккель Старший, сделавший ряд открытий по анатомии нервов. В области анатомии семейство Меккель занимало в течение нескольких поколений руководящее место. В особенности следует отметить Иоганна-Фридриха Меккеля Младшего, который, опираясь на работы отца и деда, создал в начале XIX в. в Германии центр сравнительной анатомии. В своей деятельности он мог использовать созданную его дедом и расширенную его отцом с затратой значительных средств анатомическую коллекцию, считавшуюся в XVIII в. одной из первых.

¹ Относящаяся к этому работа Либержюна от 1745 г. озаглавлена „De fabrica et actione villorum intestinalium“ („Строение и деятельность тонких ворсинок кишечника“).



VIII

НОВЕЙШАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ОТНОШЕНИЕ К ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

В области астрономии и физики XVIII в. был занят главным образом разрешением проблем, унаследованных от эпохи Ньютона-Гюйгенса. Почти исключительно на долю XVIII в. выпал также расцвет учения об электричестве от трения. В этой области предшествующая эпоха прибавила лишь весьма немногое к известным с древности простейшим фактам. В химии многочисленные наблюдения подготовили почву для великой реформы, совершенно преобразовавшей в начале новейшего периода облик этой науки, в то время как в зоологии и ботанике возобладало систематизаторское направление, кое-где только уступавшее место экспериментальному методу. Распространение этого метода во всех областях науки и повсеместное стремление связать его с математическим методом исследования характерно для начинающегося в конце XVIII в. периода в развитии наук, к рассмотрению которого мы теперь и обращаемся.

Большинство исследователей считало неоспоримым, что все наблюдаемые в природе явления поддаются объяснению при помощи атомной механики. Наиболее полное выражение атомистически-механический метод получил у Лапласа. „Разум, — писал он, — которому были бы известны в какой-нибудь момент времени все силы, управляющие природой, а также взаимное расположение предметов, из которых она состоит, и который подверг бы эти данные математическому анализу, мог бы охватить в одной формуле движения как величайших мировых тел, так и легчайших атомов. Будущее и прошлое одинаково были бы доступны его взору“. Человеческая мысль, прибавляет к этому Лаплас, представляет собою слабое подобие такого разума в том совершенстве, какое она придала астрономии.

В Германии стремление применить математику к наукам о природе восходит главным образом к Лейбницу и его ученику Вольфу¹. Философия Лейбница-Вольфа господствовала в первую половину XVIII в. Она подготовила также последовавшую затем эпоху

¹ Христиан фон-Вольф (1679—1754) был философом, математиком и физиком. Деятельность его протекала в Галле, откуда он был изгнан по обвинению в неверии; в 1740 г. Фридрих Великий разрешил ему возвратиться.

просвещения, в которой — в Германии, как и во Франции, — нашли себе известное завершение оба основных течения тогдашней философии, именно идеалистическое и реалистическое, выродившиеся в упрощенческую популярную философию.

В своем стремлении свести явления природы к движениям и таким образом сделать их доступными математическому объяснению XVII век вновь возродил старое атомистическое учение, принявшее при этом форму корпускулярной теории. Корпускулы или частицы играли большую роль при объяснении физических процессов. Под влиянием Христиана Вольфа Ломоносов¹ пытался распространить корпускулярную теорию и на химию, чтобы сделать и эту науку доступной математическому методу исследования. Ход мыслей Ломоносова был примерно таков: все изменения, согласно учению Вольфа, являются результатом движений. Это относится также и к изменениям в составных телах, или, как мы бы сказали теперь, к химическим соединениям. Движение — предмет механики. Следовательно, изменения составных тел, т. е. химические процессы, должны быть доступны механическому объяснению. И только таким образом химия может быть сделана точной наукой. Ломоносов, кроме того, требует объяснения химических изменений на основе физических опытов и законов и создания новой отрасли знания, которую он сам уже называет „физической химией“. Ломоносов ограничился только указанием этих целей, от осуществления которых наука была еще весьма далека. За Ломоносовым остается во всяком случае та заслуга, что он ясно формулировал указанные цели. Ломоносов явился также предшественником тех ученых, которые заложили новые основы в области учения о теплоте и учения о процессах окисления². Стремление распространить применение математики на химию с тех пор не ослабевало. И как раз в сердце Германии, там, где учил Вольф и где обучался Ломоносов, созрели первые плоды этих стремлений, когда Венцель и Рихтер создали начала стехиометрии. Уже из названия сочинений этих ученых по стехиометрии явствует, что перед их взором носилась цель, выставленная полустолетием ранее³.

Представление об атомистической и молекулярной структуре материи приобрело еще большее значение, когда Дальтон в 1800 г. создал из него хорошо обоснованную теорию. Исходя из этой теории и той предпосылки, что существуют молекулярные дальнедействующие силы, аналогичные силе тяготения Ньютона, ученые пытались подвергнуть математическому анализу явления природы. Однако цель, стоявшую перед Лапласом и его современниками и нашедшую свое завершение в требовании механического объяс-

¹ Михаил Васильевич Ломоносов родился в 1711 г. близ Архангельска. Он обучался первоначально в России, а затем несколько лет в Германии. С 1746 г. он состоял профессором химии в Петербурге, где и умер в 1765 г.

Немецкий перевод важнейших работ Ломоносова вышел в виде 178-го томика остававдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1910.

² См. стр. 55 настоящего тома.

³ См. дальше в настоящем томе.

нения всей совокупности явлений природы при помощи возможно наименьшего количества предпосылок, осуществить не удалось. На место нее новейшая механика поставила, выражаясь словами Кирхгофа, более скромную задачу — возможно более полного и простого описания хода явлений. (*)

До начала XIX в. развитие математики шло параллельно развитию естественных наук. Декарт, Галилей, Кеплер, Ньютон, Лейбниц — все они достигли больших успехов и в математике и в области естествознания, ибо они были проникнуты идеей о внутренней взаимозависимости между первой и последним. Правда, по временам всплывали и такие математические проблемы, которые первоначально казались не имеющими никакого отношения к действительному миру. Математики, разумеется, не оставляли их из-за этого в пренебрежении. Но ни в XVII, ни в XVIII вв. не было известно то нередко встречающееся в XIX в. направление, которое горделиво величает себя „чистой математикой“ и которое потеряло всякое чувство связи с действительностью¹.

В одной из предшествующих глав мы уже познакомились с тем, как Бернулли, Лагранж и Эйлер превратили исчисление бесконечно малых в важнейшее орудие, так сказать, в рабочий инструмент естествоиспытателя. На рубеже XVIII и XIX вв. подобное же значение для естественных наук, а особенно для их применения на практике приобрели две новые отрасли математики — именно, начертательная и проективная геометрия. Впрочем, зародыши их встречаются еще значительно раньше.

МАТЕМАТИКА И ИСКУССТВО

Начертательная геометрия, задачей которой является представление пространственных фигур в плоскости и абсолютно точное обратное их построение при помощи их плоских образов, обыкновенно считается творением Монжа. Но не следует забывать того, что пользование горизонтальными и вертикальными проекциями столь же старо, как и строительное искусство. Находки папирусов доказали, что египтяне прибегали для своих построек к подобным чертежам. И Витрувий в своем написанном в эпоху Августа сочинении об архитектуре излагает применявшийся римскими зодчими способ вычерчивания горизонтальной и вертикальной проекций. Дальнейшее свое развитие эта, возникшая из непосредственных практических потребностей, наука получила не за письменным столом ученого, а на месте практической работы, в первую очередь, в строительных мастерских средневековья. Изумительные создания архитектуры той эпохи могли возникнуть лишь при том условии, что их творцы умели решать задачи начертательной геометрии, в особенности те, которые имели своим предметом сечения сводов.

¹ Сказанное относится только к встречающемуся по временам среди теоретиков умалению значения практических применений науки. Этим вовсе не отрицается необходимость культивирования науки и независимо от последних. (*)

Разумеется, многие применявшиеся построения были открыты чисто эмпирически, и математических доказательств их справедливости не приводилось. Это следует, например, из того, что некоторые сочинения XVI и XVII вв. содержат важные для строительного дела построения, даже без всякой попытки доказать их правильность.

Не меньший интерес к созданию метода точного изображения на плоскости пространственных фигур проявляли живописцы. Поэтому вполне естественен тот факт, что первая немецкая книга, посвященная этому методу, принадлежит художнику, именно великому Альбрехту Дюреру (Dürer). Дюрер благодаря этому заслуживает не в меньшей степени, чем Леонардо да-Винчи, определенного места в истории науки.

Сочинение Дюрера появилось в 1525 г.; название его гласило: „Underweysung der messung mit dem zirckel und richtscheyt in Linien, ebenen und gantzen corporen“ („Наставление об измерении при помощи циркуля и наугольника линий, плоских и целых тел“). Значение этого сочинения заключается не столько в указываемых в нем построениях, сколько в требовании составлять перспективный чертеж картины не просто от руки, как это делали ранее, что влекло за собой неизбежно грубые ошибки, но в согласии с предписаниями математики. Благодаря этому Дюрер стал одним из творцов учения о перспективе. Но и у него имелись в XV в. и даже в древности предшественники. Первое систематическое изложение учения о перспективе было дано в 1480 г. в Италии Франчески (Franceschi).

Но Монжу принадлежит та великая заслуга, что он не только увеличил число возникших в процессе долгого развития предложений (из коих мы можем здесь упомянуть только о некоторых), но и объединил их в некую строго обоснованную при помощи соответствующих доказательств научную систему — современную дескриптивную, или начертательную, геометрию.

В общественной, как и в личной, жизни Монжа с особенной отчетливостью нашли свое отражение духовная, политическая и общекультурная обстановка эпохи французской революции.

Гаспар Монж происходил из того третьего сословия, которое впервые приобрело значение благодаря революции и которое в духовном отношении вскоре оказалось первым. Он родился в 1746 г. в бургундском городке, в семье бедного ремесленника. Для того чтобы иметь возможность дать своим сыновьям научное образование, отцу Монжа пришлось испытывать огромные лишения. Уже с 16 лет Монж был учителем физики в Лионе. Позднее он преподавал в школе для военных инженеров теорию строительного искусства. В результате занятий этим делом Монж, стремившийся упростить и научно обосновать частью слишком сложные, частью же чисто эмпирические старые методы, создал около 1770 г. начертательную геометрию. Однако свое основное произведение Монж опубликовал только в 1798 г.¹, ибо ему, до тех пор пока он работал

¹ Г. Монж, Начертательная геометрия. Немецкий перевод этого труда Монжа вышел под редакцией Г. Гаусснера (Haussner) в виде 117-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900.

в военном училище, вменялось в обязанность сохранение в тайне своего гениального курса.

Хотя Монж и редко выступал в качестве политика, он все же принадлежит к числу великих деятелей французской революции. Конвент поставил его во главе литейных заводов, изготовлявших орудия. Находясь на этом посту, он написал сочинение об изготовлении пушек. Позднее Монж оказал решающее влияние на постановку технического образования¹ при организации *École polytechnique* — этого великого прообраза технических училищ XIX в. Выдвинутые тогда Монжем требования — именно естественно-научное образование, обучение студентов употреблению научных инструментов и научно обоснованному черчению, применение начертательной геометрии в архитектуре и в учении о конструкции машин — остались и в дальнейшем теми важнейшими принципами, на почве которых современная техника и могла только достигнуть отличающего ее совершенства.

Из позднейшего периода жизни Монжа заслуживает упоминания еще то, что из крупнейших ученых он вместе с Бертолле принял участие в экспедиции Наполеона в Египет. Наполеон, умевший ценить значение точных наук, как ни один другой государь, осыпал Монжа почестями. Во время империи Монж был профессором в Политехнической школе. После реставрации Бурбонов он был лишен всех чинов и должностей. Под влиянием этого он впал в состояние душевного расстройств, от которого его избавила в 1818 г. смерть.

Среди принадлежащих Монжу работ по математике и механике первое место занимает его „Начертательная геометрия“, в которой он научно обосновал эту дисциплину. Монж ставил перед ней двойную задачу. Во-первых, требовалось свести все трехмерные фигуры к двумерным, изобразив их на чертежном листе. Во-вторых, начертательная геометрия показывает, как из чертежа вывести все те отношения, которые вытекают из формы и взаимного расположения изображенных на плоскости пространственных фигур.

Примененный для решения этих задач Монжем метод проекций исходит из той предпосылки, что положение точки в пространстве является математически определенным, если известны ее проекции на две взаимно перпендикулярные плоскости. Под проекцией точки на плоскость Монж понимает основание опущенного из этой точки на плоскость перпендикуляра. Метод Монжа приобретает особенную наглядность благодаря следующему приему: Монж заставляет вертикальную плоскость вращаться вокруг линии пересечения с горизонтальной до тех пор, пока она не совпадет с последней. Таким

¹ В частности организация немецкого технического образования отличается от французского тем, что Политехническая школа с немецкой точки зрения является высшим техническим учебным заведением лишь в своей связи с Горной школой, школой постройки мостов и дорог и другими специальными вузами, для которых она является своего рода подготовительным заведением, поскольку в ней дается общетехническое образование.

ГАСПАР МОНЖ

1746—1818

образом вертикальная плоскость вместе с находящимися на ней проекциями вычерчивается на том же листе, который служит и для горизонтальной проекции. Обе плоскости отделяются друг от друга только линией пересечения (осью проекций). При этом всегда следует помнить, что для того чтобы занять свое собственное положение, вертикальная плоскость должна быть повернута вокруг линии пересечения, как вокруг шарнира, на 90° . Эта замечательная основная идея влечет за собою множество упрощений и обладает рядом преимуществ. Так, нетрудно убедиться, что обе проекции любой точки лежат на одной перпендикулярной к оси проекции прямой, что плоскость вполне определяется двумя линиями ее пересечения с обеими плоскостями проекций (ее „следами“) и что эти следы пересекают линию пересечения плоскостей проекций (ось проекций) в одной и той же точке.

Само собою разумеется, что более подробно излагать труд Монжа здесь невозможно. Он содержит ряд частных проблем, относящихся к изображению плоских и кривых поверхностей, их пересечений, важнейших тел и их пересечений, причем решение их дается часто в форме, употребительной еще и ныне. Дальнейшее развитие начертательная геометрия получила лишь в новейшее время благодаря установлению тесной связи между нею и основанной Понселе (Poncelet) и Штейнером (Steiner) новой синтетической геометрией.

Первые исследования, подготовившие почву для новой синтетической геометрии, восходят еще к XVII в. Они принадлежат двум современникам и соотечественникам Декарта — Дезаргу (Desargues) и Паскалю. Дезарг¹ в своем сочинении „О фактах, в основе которых лежит пересечение конуса с плоскостью“ показал, что конические сечения можно исследовать при помощи некоторого метода, приводящего к теоремам весьма общего характера. Если, например, представить себе глаз помещенным в вершине конуса, то при такой перспективе эллиптическое сечение принимает форму окружности. Дезарг поставил себе задачу вывести свойства конических сечений из свойств этой окружности при помощи своего рода перспективного метода доказательства и таким образом открыл впервые теоремы, имеющие силу для всех видов конических сечений. Одна из таких справедливых для всех конических сечений теорем и теперь еще называется теоремой Дезарга².

Из всех своих современников Дезарг был понят, однако, только Паскалем. К теореме Дезарга о вписанном четырехугольнике Паскаль присоединил еще теорему о пascalевом шестиугольнике. Теорема эта гласит, что во всяком вписанном в коническое сечение шестиугольнике три точки, в которых пересекаются попарно противоположные стороны, лежат на одной прямой. И это положение было первоначально доказано для окружности. Его обобщение было

¹ Дезарг родился в Лионе и был строителем (1593—1662).

² Она гласит, что стороны и диагонали любого вписанного в коническое сечение четырехугольника пересекают любую проходящую через коническое сечение прямую таким образом, что точки пересечения образуют инволюцию, т. е. что между получающимися на прямой отрезками существуют определенные отношения.

получено лишь из той перспективной связи, которая существует между кругом и коническими сечениями.

Дальнейшее развитие проективная геометрия получила только в XIX в. Первое систематическое изложение ее опять-таки принадлежит французу, а именно Понселе (Poncelet), одному из самых гениальных представителей прикладной математики.

Жан-Виктор Понселе родился в 1788 г. в Метце в бедной семье и умер в 1867 г. В качестве воспитанника Политехнической школы он имел возможность слушать лекции Ампера, Фурье, Лежандра и других светил науки, которыми так богата была Франция на рубеже XVIII и XIX вв. Понселе участвовал в качестве офицера инженерных частей в русской кампании Наполеона. Попав в руки русских, он пробыл два года военнопленным. Получившийся, таким образом, невольный досуг Понселе заполнял тем, что, развивая основные принципы своего метода, создал один из капитальнейших трудов по математике „*Traité des propriétés projectives des figures*“ („Трактат о проективных свойствах фигур“)¹. Благодаря этой книге Понселе стал творцом новой синтетической, или проективной геометрии. Основные идеи нового метода исследования мы встречаем еще в XVII в.² От метода начертательной геометрии³, созданного Монжем, он отличается в следующем. В то время как Монж проецирует фигуры при помощи параллельных прямых на две взаимно перпендикулярные плоскости, Понселе рассматривает их перспективное изображение. Подобное изображение получается, если из рассматриваемого как точка глаза провести лучи через точки исследуемой фигуры и поставить на пути этих лучей какую-нибудь поверхность (в качестве последней обыкновенно употребляют плоскость). Точки, в которых лучи пересекают эту плоскость, и образуют перспективное изображение фигуры. При помощи него свойства изучаемой и родственных ей фигур получаются нередко с поразительной простотой. Кроме того, метод Понселе является в такой степени чисто геометрическим методом, т. е. настолько свободен от применения каких-либо иных вспомогательных средств, что в этом отношении превосходит все прочие методы. Тогда как в аналитической геометрии мы пользуемся координатами и вычислительными приемами, а в начертательной геометрии употребляем вертикальную и горизонтальную проекции, Понселе оперирует исключительно с самими геометрическими объектами.

После опубликования своей проективной геометрии Понселе занялся преподаванием технических наук сперва в своем родном городе, а затем в Париже. Это обстоятельство, а также и те нападки, которым подверглись из низменных побуждений его математические работы, побудили его отдаться главным образом прикладной математике. И в этой области его достижения принадлежат к числу наиболее выдающихся. Работы Понселе по гидромеханике

¹ Эта книга вышла впервые в 1822 г.

² См. т. 2.

³ См. стр. 116 настоящего тома.

теории машин и по настоящее время причисляются к основоположным в этих отраслях знания¹. Упомянем только, что Понселе усовершенствовал водяное колесо (колесо Понселе) и ввел в употребление килограммометр в качестве единицы механической работы, эквивалентность которого с живой силой он особенно подчеркивал.

ОСНОВАНИЕ НОВЕЙШЕЙ ГЕОМЕТРИИ

Десять лет спустя после выхода в свет работы Понселе о проективной геометрии в Германии появилась книга Штейнера „Систематическое изложение связей, существующих между геометрическими фигурами“², давшая огромный толчок развитию этой науки

Яков Штейнер родился в 1796 г. в бедной крестьянской семье вблизи Золотурна³. Начальное образование он получил в сельской школе, а затем посещал воспитательное заведение Песталоцци. Но ни здесь, ни в Гейдельберге, где Штейнер в течение трех лет зарабатывал себе на жизнь частными уроками, он не встретил поощрения своим научным устремлениям. Он был по существу самоучкой в своей области, ибо в Германии в то время едва ли имелся какой-нибудь более или менее крупный представитель еѣ. После того как Штейнер покинул Гейдельберг, он сделался преподавателем в одном берлинском учебном заведении. Там он случайно познакомился с Александром фон-Гумбольдтом. Одна из прекраснейших черт Гумбольдта состояла в том, что он, так сказать, открывал молодые дарования и без всякой зависти продвигал их вперед, пользуясь своим высоким положением, обеспеченным ему его происхождением и научными заслугами. Благодаря содействию Гумбольдта Штейнер получил место в Берлинской ремесленной школе, в которой работал также химик Велер (Wöhler). Позднее по рекомендации Гумбольдта и Якоби Штейнер получил должность профессора в Берлинском университете. Благодаря совместным усилиям Штейнера, Крелля (Crelle) и проживавшего также в 20-х годах в Берлине норвежского математика Абеля (Abel) в 1826 г. был создан первый и в течение долгого времени важнейший немецкий математический журнал „Журнал чистой и прикладной математики Крелля“ („Crellesche Journal für reine und angewandte Mathematik“).

К числу первых работ Штейнера, опубликованных в этом журнале, принадлежит его трактат „Некоторые геометрические исследования“, напечатанный в 1826 г.⁴ В этом трактате Штейнер, заинтересованный проблемой Мальфатти (Malfatti), занимается,

¹ Reuleaux, Theoretische Kinematik, стр. 13.

Важнейшей работой Понселе по теории машин является его „Mécanique appliquée aux machines“, 1826 („Механика в применении к машинам“).

² Jacob Steiner, Systematische Entwicklung der Abhängigkeit geometrischer Gestalten von einander, mit Berücksichtigung der Arbeiten alter und neuer Geometer u. s. w., Berlin 1832. Переиздано А. Ф. Эгтингеном в виде 82-го и 83-го томов оствальдовской серии, Лейпциг, 1896.

³ Он умер в 1863 г.

⁴ Переиздан под редакцией Р. Штурма (Sturm) в виде 123-го тома оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1901.

главным образом, задачами на соприкосание кругов. Мы не можем войти здесь в детали этой работы. Заслуживает, однако, упоминания описанный самим Штейнером метод его научных занятий. Штейнер сообщает здесь, что он никогда не знакомится с какой-нибудь задачей или теорией по сочинениям других авторов, пока не найдет путем собственных размышлений ее решения или же пути к нему. Лишь тогда он приступает к сравнению полученных им результатов с уже имеющимися¹. Разумеется, такой метод годится не для всякого. Но это как раз тот метод, который наилучшим образом обеспечивает прогресс науки.

В другой работе Штейнер дает метод решения всех геометрических построений, пользуясь только линейкой, т. е. без применения циркуля, при том лишь условии, что задается какой-либо неподвижный вспомогательный круг. Раньше геометры пользовались для решения большинства подобных задач линейкой и циркулем. Этот труд² Штейнера заключает в себе теорию гармонических лучей и точек, учение о гармонических свойствах круга, о точках подобия, степенях кругов и, наконец решение всех геометрических задач при помощи линейки, если задан неподвижный круг.

Мы подошли, наконец, к ставшему основоположным для новейшей геометрии капитальному труду Штейнера, к его „Систематическом изложении связей, существующих между геометрическими фигурами“³.

Эту работу можно считать первой попыткой органического и всестороннего построения геометрии из одних идей⁴, построения, позволяющего охватить все множество разрозненных прежде частных проблем одной универсальной и ясной точкой зрения.

При помощи употреблявшихся ранее методов можно было, прибегая к разным остроумным ухищрениям, получить какую-то коллекцию из отдельных теорем, но не связную целостную систему. Усвоив же основные отношения между фигурами, говорит Штейнер о цели своей работы, можно стать господином над всем целым геометрии. „Хаос заменяется порядком, и становится видным, как естественным образом взаимно переплетаются и объединяются в точно отграниченные группы все части. Суть дела состоит в том, что открываются взаимоотношения геометрических образов, а также тот закон, по которому из свойств более простых фигур получают свойства фигур сложных. При этом такие свойства фигур, как сопряженные диаметры конических сечений и мистический шестиугольник и шестисторонник⁵, существование которых ранее приходилось выявлять при помощи искусственных доказательств и

¹ Ostwalds Klassiker, № 123, стр. 3.

² „Die geometrischen Konstruktionen, ausgeführt mittelst der geraden Linie und eines festen Körpers von Jacob Steiner“. Переиздано под редакцией А. Ф. Эглингена в виде 60-го тома оствальдовской серии классиков точного знания.

³ Ostwalds Klassiker, №№ 82 и 83. Эта работа Штейнера появилась впервые в 1832 г.

⁴ Arne th, Geschichte der Mathematik, стр. 286.

⁵ Здесь имеются в виду теоремы Паскаля и Бриансона о вписанных и описанных вокруг конических сечений шестиугольниках. Паскаль назвал свой шестиугольник Hexagramma mysticum.

которые, будучи открытыми, казались чем-то чудесным, теперь оказываются лишь необходимыми следствиями незаметнейших свойств установленных основных элементов⁴.

Хотя мы и вынуждены отказаться от более подробного разбора „Систематического изложения“ Штейнера, мы все же еще остановимся в немногих словах на полученных им результатах в теории конических сечений — области, занимающей математиков со времен Менехма и Аполлония вплоть до наших дней. Только при рассмотрении конических сечений как некоторых проективных образов оолучаются фундаментальные теоремы, т. е. теоремы настолько общег характера, что все прочие свойства конических сечений полностью следуют из них. Так, например, Штейнер вывел из своих фундаментальных теорем¹, что коническое сечение определяется любыми пятью касательными или пятью точками, лежащими в одной плоскости. Таким образом пять произвольных прямых на плоскости могут всегда служить касательными к одному и только к одному коническому сечению. Или же еще: пять произвольных точек на плоскости всегда лежат на некотором и притом только на одном коническом сечении.

Теперь и теоремы о шестиугольнике Паскаля и Брианшона предстали в совершенно новом, лишенном какой-либо чудесности, освещении. Многие математики доказывали эти теоремы и пытались более или менее полно обосновать на них теорию конических сечений. Теорема Брианшона гласит, что во всяком описанном вокруг конического сечения шестиугольнике прямые, соединяющие противоположные углы, пересекаются в одной точке. Теорема Паскаля утверждает, что во всяком вписанном в коническое сечение шестиугольнике три точки пересечения противоположных сторон лежат на одной прямой. Штейнер показал, что обе эти теоремы не годятся вовсе в качестве основы для общего учения о конических сечениях, являясь наряду со многими другими свойствами последних результатом иного, более общего порядка факта — именно того отношения, которое существует между проективными образами.

От исследования конических сечений при помощи метода проективной геометрии Штейнер переходит к пространственным фигурам². Исследование здесь главным образом направлено на изучение свойств параболоидов и гиперболоидов.

Хотя заслуги Штейнера в деле развития новейшей геометрии могли здесь быть отмечены лишь беглым образом, но из сказанного все же ясно, что благодаря ему теория конических сечений, которая уже несколько раз привлекала наше внимание в силу ее значения для естественных наук и для техники, сделала существенные успехи и была обоснована на принципах чрезвычайно общего характера. Последовавшие затем достижения в этой области ограничиваются лишь дальнейшей разработкой и формальным усовершенствованием полученных им результатов³.

¹ Steiner, Systematische Entwicklung, § 38, III, IV.

² Ostwalds Klassiker, № 83, стр. 43 и сл.

³ Hankel, Die Elemente der projektiven Geometrie, стр. 27.

Наряду с этими крупными успехами проективной геометрии можно отметить достижения в аналитическом методе исследования геометрических проблем. Аналитическая геометрия подобно синтетической также поднялась в новое время на более высокую ступень. Этим она в особенности обязана „Системе аналитической геометрии“ Плюккера¹ („System der analytischen Geometrie“). Плюккер отказался от употребления двух или трех осей координат, к которым ранее относились плоские или пространственные образы. Вместо координат он ввел линейные функции, соответствующие пучкам лучей Штейнера. Благодаря новым методам синтетической и аналитической геометрии, заменившим употреблявшиеся ранее неподвижные основные элементы подвижными, науки стали стремиться к сближению, приводящему к их все большему взаимному проникновению и оплодотворению².

Выяснение невозможности дать доказательство аксиом обыкновенной (эвклидовой) геометрии привело в течение XIX в. к новой, неэвклидовой геометрии. Одним из основных, ранее никогда не вызывавших сомнения принципов геометрии является аксиома о параллельных прямых. Она утверждает, что через точку, лежащую вне прямой, в плоскости, определяемой этими прямой и точкой, можно провести лишь одну единственную прямую, не пересекающую первой прямой.

Если усомниться в аксиоме параллельности, то теряет силу теорема, согласно которой сумма углов треугольника равна двум прямым, и, таким образом, оказывается, что в важнейших принципах геометрии заложена некоторая недостоверность. Это является следствием того, что — как убедились еще в древности — аксиому параллельности доказать нельзя. Гаусс, сознававший бесполезность предпринимавшихся попыток доказать аксиому параллельности, высказал ту мысль, что для чистой математики могло бы иметь большое значение создание геометрии, отказывающейся от этой аксиомы. То, на что Гаусс лишь намекал, осуществил Лобачевский³. В своей пангеометрии он создал новую универсальную теорию, включающую в себя обычную геометрию в качестве некоторого частного случая, в совершенстве соответствующего нашему представлению о пространстве⁴. Более подробное рассмотрение этой области не

¹ Берлин 1835. Плюккер (1801—1868) был профессором математики и физики в Галле и Бонне.

² Arneht, Die Geschichte der reinen Mathematik, стр. 288.

Среди новейших сочинений по истории математики, наряду с капитальным трудом Кантора („Vorlesungen über Geschichte der Mathematik“, 4 тома), следует назвать книгу Г. Вилейтнера, вышедшую под названием „Geschichte der Mathematik“. Последний том появился в 1921 г. (в „Объединении научных издателей“). Он посвящен, главным образом, лишь кратко охарактеризованным в этой главе областям (начертательной геометрии, проективной геометрии и т. д.).

³ Лобачевский (1793—1856), профессор математики в Казани. (Николай Иванович Лобачевский — великий русский ученый, основатель неевклидовой геометрии. Издательство подготавливает к выходу в свет собрание его трудов в семи томах; первый том этого собрания выйдет в 1938 г. *Ред.*)

⁴ N. I. Lobatschewskij, Pangeometrie, 1856. Немецкий перевод под редакцией Г. Либмана (Liebmann) вышел в виде 130-го томика оствальдовской серии, Лейпциг 1902.

входит в задачи нашей книги, касающейся математики лишь в той мере, в какой она воздействовала на развитие естественных наук.

Результаты своих исследований Лобачевский опубликовал в 1836 г. Значение неевклидовой геометрии сводится по его мнению к тому, что если даже она и не обладает объективной реальностью, то все же представляет продукт нашей мысли, открывающий новую обширную область для математических исследований.

В связи с рассматриваемым здесь вопросом заслуживают упоминания наряду с Лобачевским также В. Болиан (Bolyai) и Б. Риман (Riemann).

УСПЕХИ ВЫСШЕГО АНАЛИЗА И АЛГЕБРЫ

После беглого обзора новейшей стадии в развитии геометрии мы со всей возможной краткостью рассмотрим некоторые важные успехи, сделанные алгеброй и высшим анализом. Еще в седой древности математики занимались учением об уравнениях. Исследование этой области, представлявшее особенные трудности, потребовало напряжения всех сил математиков. Как много времени потребовалось для того, чтобы выяснить природу отрицательных корней, а главное зависимость, существующую между корнями и коэффициентами уравнения! Только в XVIII в. математики (Эйлер 1749, Лагранж 1772, Гаусс 1799) доказали, что каждое уравнение разлагается на произведение стольких действительных или мнимых множителей, сколько единиц в его степени. Несмотря на это ни Эйлеру, ни Лагранжу не удалось найти решения уравнения степени выше четвертой. Поэтому уже Гаусс высказал предположение, что, по всей вероятности, общее уравнение пятой степени неразрешимо. Доказательство этого дал великий норвежский математик Абель (Abel), ролью которого в новейшей истории алгебры и анализа мы и займемся в первую очередь.

Нильс-Генрих Абель родился в 1802 г. в семье норвежского сельского священника. Он изучал математику в Христиании и благодаря своему исключительному дарованию получил от норвежского правительства стипендию для продолжения своих занятий в Германии и Франции. В Берлине Абель наряду со Штейнером принадлежал к числу первых сотрудников вновь основанного „Журнала прикладной и чистой математики Крелля“¹. Абель умер 26 лет от болезни легких. Приглашение его на кафедру в Берлинский университет уже не застало его в живых.

Среди работ Абеля заслуживает упоминания прежде всего его исследование над разложением в ряд бинома Ньютона². Абель первый исследовал этот ряд для случая комплексных значений. Его работа

¹ См. стр. 119 настоящего тома.

² „Untersuchungen über die Reihe: $1 + mx + \frac{m(m-1)}{1 \cdot 2} x^2 + \dots$ von N. H. Abel“ („Crelles Journal“, I, 1825). Переиздана под редакцией А. Вангерина, в виде 71-го томика остальдовской серии классиков точного знания Лейпциг. 1895.

стала образцом точного математического доказательства в области теории бесконечных рядов.

Более важно, чем упомянутая работа, данное Абелем доказательство того, что алгебраические уравнения степени выше четвертой неразрешимы в общем виде¹. Несколько лет спустя Абель показал, что несмотря на это для любой степени существует особый класс уравнений, разрешимых алгебраическим путем. Решение этих уравнений, позднее названных „абелевыми уравнениями“, возможно в силу существования некоторых отношений между их корнями².

В дальнейшем еще будет идти речь о великих заслугах Абеля как одного из основателей теории эллиптических функций. Здесь нашей задачей является дальнейшее рассмотрение развития теории алгебраических уравнений. Своими успехами она обязана в особенности французским математикам Фурье и Штурму.

Достижениями Фурье в области математической физики мы еще займемся в последующем изложении. Здесь нас интересует только его важнейшее чисто математическое сочинение, вышедшее в 1831 г. под названием „Решение определенных уравнений“³. Фурье дал в нем метод нахождения действительных корней уравнения, заключенных между двумя произвольными значениями неизвестной x , и существенно усовершенствовал метод вычисления корней Ньютона.

Шарль Штурм (родился в 1803 г. в Женеве, был профессором Политехнической школы, умер в 1855 г.) исходил в своих исследованиях из только что отмеченной теоремы Фурье об определении интервалов, в которых заключаются действительные корни уравнения. В трактате Штурма о разрешении числовых уравнений (1835) излагается, как, пользуясь особой, названной по его имени теоремой, можно простейшим образом определять количество действительных корней, а также вычислять те интервалы, в которых они заключаются. В силу этого работа Штурма представляет собою самое значительное достижение в теории числового решения алгебраических уравнений с действительными коэффициентами⁴.

Самым могучим математическим орудием естествознания оказалось и в XIX в. дифференциальное и интегральное исчисление, причем роль его в этом отношении становится все более и более значительной. Среди многочисленных работ, содействовавших успехам этой математической дисциплины в первые десятилетия XIX в., особенного упоминания заслуживают труды Пфаффа (Pfaff) и Коши (Cauchy).

¹ Оно появилось в I-м томе „Журнала Крелля“ под заглавием *Démonstration de l'impossibilité de la résolution algébrique des équations générales qui dépassent le quatrième degré*.

² N. H. Abel, *Abhandlung über eine besondere Klasse algebraisch auflösbarer Gleichungen*, „Crelles Journal“, IV, 1829. Переиздано с примечаниями под редакцией А. Леви (Loewy) в виде 111-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900 г.

³ Немецкий перевод вышел под редакцией А. Леви в виде 127-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900.

⁴ Немецкий перевод мемуара Штурма вышел под редакцией А. Леви в виде 143-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1904.

Пфафф¹ первый разрешил в общем виде² задачу интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными, над которой безуспешно трудились Эйлер и Лагранж. Эйлер не был в состоянии дать общей теории даже того простейшего случая, когда дифференциальное уравнение с частными производными первого порядка и зависит только от двух переменных. Хотя Лагранжу и удалось найти способ интегрирования таких уравнений, но и ему пришлось для уравнений более чем с тремя переменными ограничиться тем случаем, когда частные производные входят в уравнение только линейным образом.

Пфафф сделал также многое для теории рядов, комбинаторики и применения последней к проблемам высшего анализа. Его новый метод суммирования бесконечных рядов (1788 г.) состоит в том, что он разлагает в бесконечные ряды члены того бесконечного ряда, сумму которого ищут, и затем объединяет члены получившихся рядов в новые, доступные суммированию ряды.

Независимо от Пфаффа общий метод интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными первого порядка „при любом числе независимых переменных“ был найден французским математиком Коши³.

Огюстен Коши родился в 1789 г. в Париже. Он был воспитанником Политехнической школы и еще мальчиком подобно Паскалю и Клеро проявил столь выдающиеся математические дарования, что на него обратил внимание даже великий Лагранж. Впоследствии Коши состоял преподавателем Политехнической школы. Испытав целый ряд обусловленных политическими событиями превратностей судьбы, он скончался в 1857 г.

Среди математических работ Коши особого упоминания заслуживает одна из них, относящаяся к 1825 г.; в ней Коши дал способ вычисления определенного интеграла, заключенного между мнимыми пределами, а также определения количества возможных значений такого интеграла⁴. О пользе, которую оказали математические исследования самого Коши, а также опирающиеся на них работы других ученых, математической физике, будет рассказано в другом месте.

Огромное значение для развития высшего анализа имело преобразование теории эллиптических функций, произведенное Абелем,

Иоганн-Фридрих Пфафф родился в 1765 г. Он был профессором математики в Галле и умер там же в 1825 г.

² J. F. Pfaff, Allgemeine Methode partielle Differenzialgleichungen zu integrieren. Немецкий перевод этой работы с латинского вышел под редакцией Г. Ковалевского (Kowalewski) в виде 129-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1902.

³ Коши, Об интегрировании дифференциальных уравнений с частными производными первого порядка при любом числе переменных (1819 г.). Немецкий перевод вышел под редакцией Г. Ковалевского в виде 113-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900.

⁴ Эта и по сию пору трудная для чтения работа, сыгравшая решающую роль в дальнейшем развитии теории функций, была переиздана П. Штеккелем в 112-м томике остальдовской серии классиков точного знания: *C a u c h y, Ueber bestimmte Integrale zwischen imaginären Grenzen*, Leipzig, W. Engelmann 1900.

с заслугами которого в теории рядов и уравнений мы уже ознакомились, и великим немецким математиком Якоби.

Карл-Густав-Яков Якоби родился в 1804 г. в Поттсдаме. Первоначально он посвятил себя под руководством Бекка (Böckh) занятиям классической филологией, но вскоре затем под влиянием сочинений Эйлера, Лагранжа, Лапласа и Гаусса решил отдаться изучению математики. Двадцати одного года от роду он получил доцентуру по математике в Берлинском университете. Вслед затем он работал в Кенигсберге, а под конец возвратился в Берлин, где умер в 1851 г.

Первые исследования Якоби относятся к эллиптическим функциям. В 1829 г. вышел его капитальный труд по этому предмету¹. За эту работу ему была присуждена половина большой премии, назначенной Парижской академией за наиболее значительные достижения в этой области².

Начала теории эллиптических функций встречаются еще у Эйлера. Эйлер стремился найти формулу для вычисления дуги эллипса и руководствовался при этом следующей идеей. Круг, как известно, представляет собою частный случай эллипса, поэтому возможно, что дуга эллипса может быть выражена при помощи таких общих функций, которые заключают в себе круговые функции в качестве частного случая. Лежандр вновь занялся этой проблемой, которую ему удалось продвинуть далее. Он, между прочим, первый употребил выражение „эллиптические функции“. Однако в отличие от современного словоупотребления он обозначал этим названием интегралы, выражающие дуги эллипса и гиперболы. Лежандр работал над этим предметом десятки лет, и, когда дальнейшее развитие теории ему представилось уже невозможным, он подвел итоги своих исследований в обширном труде, появившемся в 1827 г.³. Едва, однако, это сочинение было опубликовано, как Лежандр должен был признать, что его собственные исследования были значительно превзойдены Абелем и Якоби. „После многолетних занятий теорией эллиптических функций, основание которой было заложено бессмертным Эйлером, я почел должным опубликовать полученные мною результаты в обширном сочинении. Но едва лишь моя книга вышла в свет, как оказалось, что двое молодых математиков, Якоби и Абель, значительно усовершенствовали теорию эллиптических функций новыми исследованиями“.

Абель и Якоби независимо друг от друга пришли к мысли ввести в теорию эллиптических функций мнимые величины. Благодаря этому были разрешены все загадки старой теории и вместе с тем установлена тесная зависимость между эллиптическими функциями и функциями круговыми и показательными.

Якоби, однако, проник еще глубже в природу эллиптических функций и показал, что их можно рассматривать как следствия

¹ *Fundamenta nova theoriae functionum ellipticarum*, Königsberg 1829.

² Другую половину получили родные скончавшегося в 1829 г. Абеля.

³ *Legendre, Traité des fonctions elliptiques*.

некоторых особых функций, называемых с тех пор тета-функциями. Далее, в то время как эллиптические функции, представляющие обращения эллиптических интегралов, обладают только двумя периодами, Якоби создал впоследствии теорию многократно периодических функций, являющихся обращениями алгебраических интегралов. Трактат Якоби, полностью освещающий природу этих новых функций, имеется на немецком языке¹.

В теории многократно периодических функций особые заслуги среди немецких математиков приобрели позднее Гепель (Göpel) и Розенгайн (Rosenhain). Их сочинения вышли в немецком переводе в оствальдовской серии².

Из вновь открытых функций особенно большую пользу принесли математической физике и теоретической астрономии эллиптические функции, а также введенные Лежандром шаровые функции.

Для дальнейшего развития высшего анализа и его применений в абстрактной области теории чисел, а также при исследовании важнейших проблем математической физики сделал очень многое немецкий математик Лежен-Дирихле (Lejeune Dirichlet).

Густав Петер Лежен-Дирихле родился в 1805 г. в Дюрене³. Продолжая „Disquisitiones arithmeticae“ Гаусса, он сумел связать теорию чисел с исчислением бесконечно малых и, проводя в жизнь эту идею, обогатить обе эти до него далекие друг от друга отрасли математики. Некоторые результаты, полученные при помощи своего метода, Дирихле опубликовал в 1839 и в 1840 гг. В этой работе⁴ дается решение проблемы, над которой трудились Лагранж, Лежандр и Гаусс,—именно вопроса о зависимости между числом квадратических форм и некоторым заданным детерминантом.

В другом трактате Дирихле занимается задачей разложения совершенно произвольных функций⁵ в ряды синусов и косинусов. Побудительной причиной этого чрезвычайно важного для развития математической физики исследования Дирихле послужило то обстоя-

¹ C. G. Jacobi, Ueber die vielfach periodischen Funktionen zweier Variablen („Crelles Journal f. r. u. angew. Math.“, 1834). Переведенная с латинского на немецкий А. Виттингом (Witting) работа эта была издана Г. Вебером в виде 64-го томка оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1895.

² A. Göpel, Entwurf einer Theorie der Abelschen Transzendenten erster Ordnung („Crelles Journal f. r. u. angew. Math.“. Переведенная с латинского на немецкий А. Виттингом, работа была издана Г. Вебером в виде 67-го томка оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1895. G. Rosenhain, Abhandlung über die Funktionen zweier Variablen mit vier Perioden („Mém. des savants“, 1851). Переведенная с французского на немецкий А. Виттингом, работа эта была издана Г. Вебером в виде 65-го томка оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1895.

³ Он умер в 1859 г. в Геттингене.

⁴ G. Lejeune Dirichlet, Untersuchung über verschiedene Anwendungen der Infinitesimalanalysis auf die Zahlentheorie („Crelles Journal“, т. 19 и 20).

Работа эта издана Р. Гаусснером в виде 91-го томка оствальдовской серии, классиков точного знания, Лейпциг 1897.

⁵ Lejeune Dirichlet, Die Darstellung ganz willkürlicher Funktionen durch Sinus- und Cosinusreihen, 1837. Работа эта издана Г. Либманом в 116-м томике оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900.

тельство, что Фурье, с которым немецкий ученый во время одного продолжительного пребывания в Париже завязал тесные отношения, при своих занятиях аналитической теорией теплоты пришел к мысли использовать тригонометрические ряды.

После тех успехов, которых Дирихле достиг в своем исследовании рядов Фурье, он посвятил свой математический талант преимущественно теоретической физике. Он открыл особый метод интегрирования, позволяющий более легко вычислять определенные интегралы, и применил его затем к задаче притяжения тел.

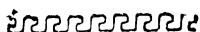
Соответствующая работа Дирихле вышла из печати в 1839 г. и ныне переиздана в остальдовской серии классиков точного знания¹. После того как Риман показал, как могут быть упрощены при помощи предложенных им преобразований наиболее трудные задачи на интегрирование, Дирихле обратился к столь часто привлекавшему к себе внимание прежних математиков (Лаплас, Гаусс и др.) случаю притяжения между эллипсоидами. В то время как до Дирихле случаи внешней и внутренней точки рассматривались обособленно и изучались различными способами, Дирихле показал, что возможен единообразный метод исследования этой проблемы. Кроме того, его метод не ограничен той предпосылкой, что сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния, и применим при любой иной целой или дробной степени расстояния. Наконец, нет необходимости предполагать постоянной плотность притягивающей массы, — она может выражаться в виде любой целой рациональной функции трех координат. Поскольку далее и Дирихле вновь подвергнул математическому исследованию случаи сил, действующих по закону Ньютона, постольку он одновременно содействовал прогрессу теории потенциала².

Продолжая исследования, Дирихле особенно много внимания уделил разложению функций в тригонометрические ряды и развитию теории потенциала Римана³. Преобразование теории функций Риманом, введшим комплексные переменные, состоящие из действительной и мнимой частей, определило во второй половине XIX в. цель и направление развития высшего анализа в его применении к естествознанию.

¹ Она составляет последний мемуар в 19-м томе остальдовской серии, посвященном проблеме притяжения однородных эллипсоидов. Этот мемуар Дирихле озаглавлен: „Ueber eine neue Methode zur Bestimmung vielfacher Integrale“.

² Lejeune Dirichlet, Vorlesungen über die im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung wirkenden Kräfte, herausgegeben von G. Grube, Lpz. 1876.

³ Schwerkraft, Elektrizität und Magnetismus. Nach Vorträgen von B. Riemann, bearbeitet von K. Hattendorf, Hannover 1876.





НАУЧНАЯ ХИМИЯ СО ВРЕМЕНИ ОСНОВАНИЯ ЕЕ БОЙЛЕМ ДО ЕЕ ОБНОВЛЕНИЯ ЛАВУАЗЬЕ

Прошел ряд десятилетий со времени основания современной физики, прежде чем химия освободилась от пут средневековой схоластики и под руководством Бойля стала стремиться к чисто научной цели, именно к исследованию состава тел. Бойль окончательно установил понятие химического элемента и заложил надежные основы для аналитической химии. Он приступил также к экспериментальному исследованию и объяснению явлений горения. Но в то время как для первой половины этой задачи Бойль и его преемники сделали очень многое, собрав огромный относящийся к процессу горения фактический материал,—в вопросе об объяснении процесса горения все исследователи, действовавшие примерно с начала XVIII в. до Лавуазье, находились под влиянием основанной Шталем теории флогистона. Даже тогда, когда Лавуазье уже разработал до мельчайших подробностей свое антифлогистонное учение, исследователи, на работы которых он главным образом опирался, именно Пристли и Шееле, не сумели отказаться от старой теории, которой они руководились при своих великих открытиях. Однако в лице Дальтона, Берцелиуса и Гей-Люссака на арену выступило новое поколение ученых, которые примкнули к Лавуазье и с которыми для химии началась новая эра количественного исследования. Благодаря этому взаимоотношения между химией и физикой стали очень тесными. Это обнаружилось, между прочим, также в том, что большинство тогдашних исследователей работало с выдающимся успехом в обеих отраслях знания. В эту охватывающую последний отрезок XVIII в. и начало XIX в. эпоху химия и получила в основном свой современный облик и свое современное направление.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВ

Понимание процесса горения стало возможным лишь после того, как Пристли приступил к исследованию газов, а Шееле доказал, что атмосферный воздух состоит из двух составных частей—До ван-Гельмонта исследователи не умели еще отличать от атмос-

ферного воздуха и друг от друга различные виды газов, из которых особенно хорошо известны стали им водород и углекислый газ. Каждое газообразное тело они отождествляли с воздухом, а наблюдавшиеся отличия объясняли различными примесями к нему. Плодотворное изучение газов началось лишь после изобретения Гельсом (изобретения, обычно приписываемого Пристли) пневматической ванны (см. рис. 18 настоящего тома) и применения им ртути для замыкания наполненных газами сосудов. Последний прием дал возможность Пристли открыть растворимые в воде газы, как, например, аммиак и хлористый водород. Но вполне отчетливое представление о химической природе газов стало возможным лишь после того, как Лавуазье показал, что кислород и водород суть химические элементы.

Джозеф Пристли, на исследованиях которого Лавуазье основал, главным образом, современную химию, родился в 1733 г. недалеко от Лидса. Он изучал теологию. Оппозиционно настроенный против англиканской церкви и свободомыслящий, Пристли вынужден был вести очень тревожное существование: то он выступал в качестве проповедника, то давал уроки в качестве школьного или домашнего учителя; под конец он переселился в Северную Америку, где умер в 1804 г. Несмотря на то, что Пристли был лишен основательной естественно-научной подготовки, он все же первый по существу завоевал для науки трудную область химии газов, в исследовании которой добился крупных результатов. Отсутствие научной подготовки Пристли компенсировал совершенно исключительным экспериментаторским талантом. Результаты своих стоивших ему большого труда исследований газов он изложил в ряде работ, которые выходили с 1772 г. и часть которых он собрал в одном более крупном произведении¹. Прежде всего Пристли рассматривает углекислый газ², который он называет „сгущенным воздухом“. Газ этот, образующийся также при брожении, он получал на пивоварнях или же добывал его сам, обливая мел кислотами. Исследования Пристли касались также вопроса о растворимости углекислоты в воде. Одновременно с этим он указывал на возможность изготовления минеральных вод путем насыщения воды углекислотой. „Так как мы сами являемся частью системы, — читаем мы в его „Природоведении“, — то ясно, что чем совершеннее наше знание законов природы, тем больше власти имеем мы над природой и тем способнее мы делать полезные для нас изобретения. Если наука будет прогрессировать с такой же быстротой, как до сих пор, то через несколько веков человечество будет превосходить нас настолько, насколько мы теперь превосходим дикарей, ибо природа неисчерпаема — она похожа на рудник, в котором каждый раз обнаруживаются все новые и новые залежи“³.

¹ Priestley, Experiments and observations on different kinds of air, 3 vol., 1774—1777. Перев. на нем. язык Ludwig в 1778.

² „Philosoph. Transactions“, LXII, 1772.

³ Priestley, Versuche und Beobachtungen über verschiedene Teile der Naturlehre. Немецкий перевод от 1780 г., т. 3, предисловие.

ДЖОЗЕФ ПРИСЛИ

1733—1804

Уже Блек¹, а также шведский естествоиспытатель Бергман (Bergmann) указали на присутствие в атмосфере „сгущенного воздуха“. Оба обратили внимание на то, что на воздухе известковая вода покрывается белой твердой массой, из которой при обливании ее кислотой выделяется „сгущенный воздух“².

Дальнейшие усилия Пристли были направлены, главным образом, на то, чтобы превращать кислоты в разные газообразные вещества. Так, из серной кислоты он получил „купороснокислый воздух“ (SO_2), а из азотной кислоты — „азотнокислый воздух“ (NO). Он заметил, что последний соединяется с кислородом, причем совокупный объем соединения уменьшается, и использовал это наблюдение для анализа атмосферного воздуха. Пристли показал далее, что образующиеся при соединении поваренной соли и серной кислоты пары принадлежат какому-то весьма растворимому в воде газообразному веществу. Ему удалось собрать над ртутью этот хлористоводородный газ (HCl), а также образующийся при соединении нашатыря и извести „щелочеобразный воздух“ (NH_3). Пристли добыл также закись азота или веселящий газ (N_2O) и окись азота. Самым крупным научным достоинством Пристли было открытие им в 1771 г. кислорода, который он получил путем нагревания красной окиси ртути. Однако славу этого открытия он должен был, как мы увидим ниже, разделить с Шееле³.

Прежде чем обратиться к исследованию газов, Пристли занимался очень много опытами над электричеством. Его книга об „Истории электричества и о современном состоянии науки об электричестве“⁴ вызвала большой интерес и снискала ему звание члена Королевского общества. Интересно проследить, как Пристли применял при экспериментальном исследовании газов приобретенные им раньше в области электричества знания. Так, он заключил немного атмосферного воздуха в стеклянную трубку, погруженную открытым концом в воду, и пропустил через газ ряд электрических искр. При этом оказалось, что объем воздуха уменьшился. Если находившаяся в трубке вода была первоначально окрашена лакмусом в голубой цвет, то теперь она принимала красную окраску⁵. Обратное наблюдалось в случае аммиака или „щелочеобразного газа“ (NH_3), объем которого при повторении действия электрической искры

¹ Джозеф Блек (1728—1799), профессор химии в Глазго и Эдинбурге.

² Записки Шведской академии наук, XXXV.

³ Г. В. А. Кальбаум (Kahlbaum) доказал, что Пристли и Шееле независимо друг от друга получили кислород и изучили его свойства (Basel, Verhandlungen 1897, т. 12, стр. 9).

⁴ History and present state of electricity with original experiments, London, 1767. Перев. на нем. язык (Krünitz, Strahlsund 1777).

⁵ Кавендиш повторил этот опыт и доказал, что при этом из соединения кислорода и азота получается азотная кислота. В качестве поглощающей жидкости он брал щелоч, с которой азотная кислота образует селитру. Кавендиш заметил уже, что при этом опыте, несмотря на достаточный приток кислорода, остается какой-то непоглощаемый остаток. Это любопытное явление было объяснено лишь в 1894 г., когда Релей (Rayleigh) и Рамзай (Ramsay) доказали наличие в атмосфере третьей важной составной части — аргона, элемента, не соединяющегося вовсе с кислородом при действии электрической искры.

увеличивался. Пристли заметил также, что при этом с аммиаком происходят глубокие химические изменения. „Прежде, — говорит он, — он легко поглощался водой. Теперь же, перегруженный „электрической материей“, он, повидимому, теряет свое сродство к воде. Он превратился в какую-то разновидность „горючего воздуха“¹. Пристли ввел также впервые метод анализа газов посредством взрыва. Пристли смешивал с кислородом над ртутью горючие газы или смесь газов. С помощью электрической искры производили вспышку и исследовали затем получившийся остаток. Таким способом Пристли нашел, что горючий газ, который получают, пропуская пары спирта через раскаленную трубку или подвергая дерево сухой перегонке, дает после вспышки с кислородом в остатке сгущенный воздух (CO_2)², в случае же вспышки „горючего воздуха“ (Н), полученного путем действия на железо серной кислоты, не образуется сгущенного воздуха. Все эти открытия совершенно исключительного по своему искусству экспериментатора имели величайшее значение для развития химии. Но Пристли облакает их еще в одеяние флогистоновой теории. Процесс горения состоит, по Пристли, в удалении флогистона. Последний, как полагает Пристли, усваивается поддерживающими горение газами и усваивается тем энергичнее, чем менее в них самих флогистона. Кислород поддерживает горение лучше всего, потому что в нем совершенно нет флогистона. Поэтому Пристли называет этот газ „дефлогистированным воздухом“. Наоборот, водород представляет собой чистый флогистон, ибо он обладает особенной способностью превращать нагретые окислы металлов обратно в металлы. Атмосферный воздух представляет по этой теории смесь „дефлогистированного“ воздуха (О) и „флогистонного“ воздуха (Н). Благодаря происходящему при горении прибавлению флогистона атмосферный воздух превращается целиком в флогистонный воздух. Пристли не обратил здесь внимания на противоречие, заключавшееся в том, что при горении уменьшаются как объем, так и вес атмосферного воздуха. Его также не смутило и не заставило отказаться от излюбленной теории то обстоятельство, что при соединении чистого флогистона (Н) и чистого дефлогистированного воздуха (О) не наблюдается и следа флогистонного воздуха (Н), а появляется вода. Правда, Пристли пришел к мысли о необходимости определить в металлах, полученных из металлических известей (окислов), вес якобы прибавляющегося к ним флогистона. Если бы он попытался осуществить эту мысль, то он наткнулся бы еще на новое противоречие, но по его словам он не в состоянии был решить вопрос, становится ли окись металла при превращении ее в металл тяжелее или легче, так как

¹ Этот опыт еще и в настоящее время демонстрируется на лекциях химии; аммиак распадается на азот и „горючий“ водород, причем объем газа увеличивается вдвое.

² Спирт при прохождении через раскаленную трубку распадается на смесь газов, состоящую главным образом из соединений углерода с водородом, как метан, этилен, бензол и т. д. Соединяясь при взрыве с кислородом, эти вещества дают углекислоту (CO_2).

всегда имела место частичная возгонка. Поэтому, несмотря на все огромное значение этого вопроса, он не занимался им больше, а решал его в духе защищавшегося им учения. На примере Пристли, а также Шееле, имевшего тоже в своих руках весь необходимый для создания правильной химической теории материал, вполне оправдывается известное замечание Лапласа, что открытия заключаются в надлежащем комбинировании подходящих друг к другу идей.

Между тем как Пристли занимался, главным образом, исследованием газов, Шееле работал во всех областях химии, обогатив ее таким множеством открытий, какое вряд ли когда-нибудь доставалось в такой мере на долю одного человека. По происхождению и языку Шееле был немцем, хотя шведы, лет тридцать назад отметившие его заслуги перед наукой торжественным празднованием 150-летия его рождения и устройством ему памятника, с одинаковым правом считают его своим соотечественником. Как видно из изданных Норденшильдом (Nordenskiöld) писем Шееле¹, адресованных Гану (Gahn), Бергману и др., Шееле пользовался в своей переписке и в своих лабораторных заметках немецким языком. Исключение составляют только письма, адресованные лицам, у которых Шееле не мог предполагать знания немецкого языка.

Карл-Вильгельм Шееле родился 9 декабря 1742 г. в Штральзунде, принадлежавшем тогда шведам. С 14-летнего возраста он посвятил себя аптекарской профессии и провел затем несколько лет в разных шведских городах в качестве аптекарского ученика и помощника. Все это время он не переставал производить опыты, приведшие его к его главным открытиям². В 1775 г. он открыл собственную аптеку, а 21 мая 1786 г. умер.

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

О своих открытиях, относящихся к кислороду и атмосферному воздуху, Шееле сообщает в одной очень важной работе, переизданной Оствальдом в 58-м томике его серии классиков точного знания. Работа эта, вышедшая в 1777 г., озаглавлена „Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer“ („Химический трактат о воздухе и огне“). Но опыты, о которых здесь сообщает Шееле, были произведены им уже в 1768—1773 гг. Из недавно опубликованной переписки Шееле³ ясно видно, что уже в 1770 г. он умел получать хлористый водород, аммиак и окись азота.

Шееле начинает свой трактат следующими словами: „Главная задача химии заключается в том, чтобы умело разлагать тела на их составные части, открывать их свойства и соединять тела различными способами“. Наибольшие трудности представлял в то время вопрос об объяснении процесса горения, породивший ряд противоречивых теорий. Поэтому Шееле отказался от всех прежних теорий

¹ Стокгольм, 1892.

² В Кепинге.

³ Издана Норденшильдом. См. „Naturwissenschaftliche Rundschau“, VIII, стр. 519.

и произвел множество опытов, чтобы выяснить сущность горения. При этом оказалось, что без тщательного исследования воздуха невозможно составить себе правильного представления о явлениях, связанных с огнем.

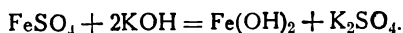
Установив точно свойства, отличающие воздух от других газов, Шееле предпринял ряд опытов, которые должны были доказать, что воздух состоит из двух различных газов.

Применявшийся им при этом метод состоял в том, что он обрабатывал определенное количество воздуха веществом, поглощавшим одну часть воздуха. При этом оказалось, что другая часть воздуха всегда оставалась в одинаковом количестве и обнаруживала одинаковые свойства. Так, например, он заключил раствор серной печени¹ в пустую бутылку, перевернул последнюю и опустил горлышко ее в небольшой сосуд с водой. Он оставил бутылку в этом положении на 14 дней, после чего перевернул ее обратно под водой и открыл. Вода немедленно проникла в бутылку, причем оказалось, что из двадцати частей воздуха были поглощены четыре. Приблизительно такое же уменьшение объема наблюдалось и тогда, когда Шееле повторил свой опыт, заменив только серную печень фосфором, железными опилками или подходящим соединением железа.

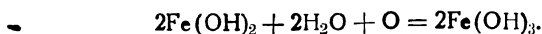
Уменьшение объема на $\frac{1}{5}$ происходило также при сгорании водорода в замкнутом объеме воздуха (см. рис. 27). Оставшийся газ не поддерживал горения.

Для получения кислорода Шееле поступал следующим образом. Он смешивал концентрированную серную кислоту с тонко измельченной перекисью марганца. Смесь эта подогревалась в маленькой реторте. Для уловления газа служил животный пузырь, из которого удалили воздух. Лишь только дно реторты накалилось, как из нее стал выходить какой-то газ, расширявший все более и более пузырь. Наполнив стакан этим газом, Шееле поднес к нему небольшую зажженную свечку. Лишь только он это сделал, как свеча начала гореть большим пламенем и так ярко, что слепила глаза. Когда Шееле смешал полученный из перекиси марганца газ² с тем воздухом, в котором огонь не хотел гореть в вышеуказанных опытах, то он получил газ, во всех отношениях тождественный обыкновенному воздуху. Кислород он назвал огненным воздухом. Другой

¹ Серная печень — это получающийся при нагревании серы с поташом (K_2CO_3) препарат, состоящий, главным образом, из сернистого калия и жадно поглощающий кислород. Шееле прибегал также к осаждению железного купороса едким кали. Он получил таким образом гидрат закиси железа:



Гидрат закиси железа легко переходит, поглощая воду и кислород, в гидрат окиси железа:



² Кислород, получающийся из перекиси марганца под влиянием серной кислоты по следующей формуле:



газ, который неспособен был поддерживать горение, он назвал испорченным воздухом. Впоследствии его назвали азотом.

При нагревании селитры в стеклянной реторте пузырь тоже расширился от газа, оказавшегося чистым „огненным воздухом“. Шееле повторил затем с „огненным воздухом“ опыты, которые он сперва производил с серной печенью, фосфором и т. д. и обыкновенным воздухом. В этом случае уже не получалось никакого остатка, а весь воздух оказался поглощенным. Если же он смешивал испорченный воздух с огненным воздухом и вводил в эту смесь кусочек фосфора, то поглощалась только та часть ее, которая приходилась на долю огненного воздуха.

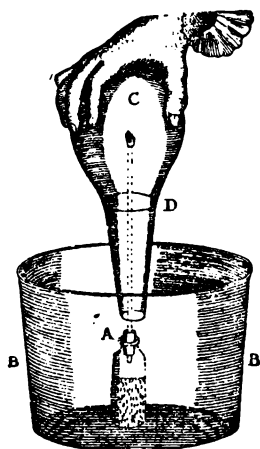


Рис. 27. Шееле анализирует воздух.

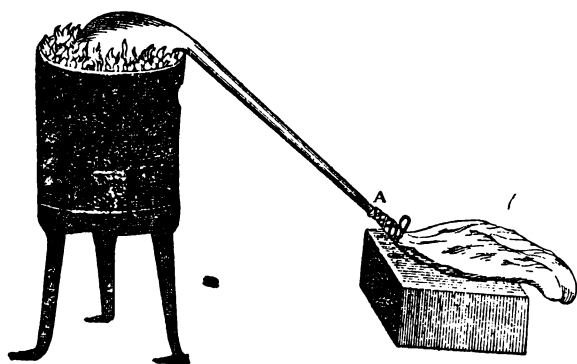


Рис. 28. Шееле добывает кислород.

Все эти опыты показывали таким образом, что огненный воздух есть именно тот газ, при помощи которого огонь поддерживается в атмосферном воздухе. „Огненный воздух, — говорит Шееле, — смешан в атмосферном воздухе только с таким газом, который не обнаруживает никакого притяжения к горючему; этот газ и препятствует слишком быстрому и бурному процессу горения“.

Кислород Шееле добывал не только путем нагревания смеси из перекиси марганца и серной кислоты или же из селитры, но приготавливал его также путем накаливания легко разлагающихся окислов металлов, как, например, окись золота и красная окись ртути, которой пользовался и Пристли¹.

Исследуя перекись марганца, Шееле получил кроме кислорода также марганец, хлор и окись бария (BaO). Последняя находилась в изученных им марганцевых рудах в виде примесей. Раствором окиси бария он пользовался, как это делают еще и в настоящее

¹ См. стр. 131 настоящего тома.

время, для обнаружения серной кислоты, между тем как до него с этой целью пользовались гораздо менее удобным раствором извести.

Шееле и Бергман изучили далее силикаты, переводя эти, играющие такую роль в минеральном царстве соединения путем сплавления с углекислой щелочью в растворимое состояние. Исследуя силикаты, Шееле установил разницу между растворимым и нерастворимым кремнеземом. Шееле сумел также получить соединения магния, меди и ртути. Но друг Шееле Бергман умел лучше последнего систематически использовать эту массу отдельных наблюдений, так что Бергману главным образом принадлежит заслуга создания основ качественного анализа. Не менее усердно изучал Шееле газы, из коих многие, открытие которых приписывалось Пристли и другим исследователям, были уже известны ему. Не говоря о кислороде, азоте и углекислом газе, это прежде всего хлористый водород, сероводород, аммиак и окись азота. Для получения газов он, в отличие от Гельса и Пристли, пользовался не пневматической ванной, а соединял реторту с животными пузырями, из которых предварительно удалял воздух путем сжимания их. При помощи этих пузырей Шееле открыл диффузию газов. „Если пузыри или хотя бы только окружающий воздух влажны, — говорит Шееле при описании своего аппарата ¹, — то находящиеся в них газы через несколько дней целиком проходят через пузыри. Если же последние и воздух сухи, то это не имеет места“.

Далее Шееле открыл, что обе составные части воздуха, названные им огненным воздухом и испорченным воздухом, растворимы в воде в весьма различной степени. Вода обладает свойством разделять составные части воздуха, впитывая гораздо легче огненный воздух. Последний необходим для живущих в воде животных. Жизненный процесс этих животных основывается на том, что они поглощают огненный воздух и выделяют воздушную кислоту CO_2 . Но выделенный газ испаряется в атмосферу, благодаря чему вода может сызнова растворить огненный воздух и доставлять его животным ². К этому в основных чертах правильному взгляду Шееле пришел на основании ряда опытов. К сожалению, опыты эти, как всегда у Шееле, касаются преимущественно качественной стороны явлений. В противном случае Шееле пришел бы, вероятно, по вопросу о значении огненного воздуха к тем же результатам, что и Лавуазье.

Не менее велики заслуги Шееле в органической химии, почти не существовавшей до него в качестве особой научной дисциплины ³. Из кислых соков растений он получал путем прибавления известковой или свинцовой воды осадки, в которых он распознал соли известных кислот. Разлагая эти соли серной кислотой, он получил

¹ Ostwalds Klassiker, № 58, стр. 27.

² Ostwalds, Klassiker № 58, стр. 92.

³ Лучший обзор развития органической химии дают „Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie“ („Хронологические таблицы по истории органической химии“) О. Э. ф. Липпмана (Lippmann).

ряд важнейших органических соединений, как например винная, лимонная, яблочная и щавелевая кислоты. Последнюю он получал не только из трилистной кислоты, но также путем действия нашатыря на сахар. Изучая мочевые камни, он открыл мочевую кислоту. Молочная кислота была известна уже до него, однако Шееле мы обязаны более точным знанием этого соединения.

Разлагая железисто-синеродистый калий при помощи серной кислоты, Шееле открыл в 1782 г. синильную кислоту. Он образцово исследовал ее и получил благодаря этому довольно отчетливое представление о составе этого соединения. Работы Шееле впервые пролили свет на известные уже с древних времен реакции щелочей с жирами. Действуя окисью свинца на оливковое масло, он получил из последнего глицерин, названный им „маслосладом“.

Все эти исследования, как мы увидим в дальнейшем, послужили основой для работ позднейших ученых. То обстоятельство, что, производя их, Шееле руководствовался теорией флогистона, несколько не умаляет значения этих работ, тем более, что Шееле больше, чем какой-либо другой исследователь, подготовил почву для антифлогистонного учения. Действительно, итог всего им написанного о воздухе и огне сводится к определенному заявлению, что воздух состоит из двух различных газов, из которых только кислород, названный им „огненным воздухом“, поддерживает горение и все аналогичные ему процессы. Шееле далее научил, как получать из воздуха эту действительную часть его, и показал, что остающийся при этом газ занимает приблизительно $\frac{4}{5}$ всего воздуха. Смешивая обе эти составные части, он получал обратно воздух со всеми его свойствами.

Легко понять, что этот мастер химического эксперимента должен был сделать ряд открытий и в области физики. Мы уже говорили о носящих, впрочем, довольно случайный характер наблюдений Шееле над растворимостью и диффузией газов. Далее, пытаясь выяснить химический процесс горения, он пришел к систематическому изучению теплоты и света, благодаря которому он один из первых установил ясное отличие теплоты тел от лучистой теплоты¹. Согласно Шееле надо отличать сообщаемую печи и выделяемую ею теплоту от теплоты, излучаемой в пространство. Последняя распространяется от точки возбуждения ее по прямым линиям и отражается полированными металлами так, что угол отражения равен углу падения. Эта лучистая теплота не поглощается воздухом и не отклоняется воздушными течениями, так что во многих отношениях она сходна со светом. Лучистая теплота, соединяясь с некоторыми телами, легко превращается в теплоту тел. В этом можно убедиться при помощи вогнутого металлического зеркала, покрытого сажой.

Шееле также один из первых обратил внимание на химическое действие света. Первое наблюдение над светочувствительностью содержащих серебро соединений сделал в 1727 г. профессор меди-

¹ Ostwalds Klassiker, № 58, стр. 43 и сл.

цины в Галле И. Г. Шульце (Schulze)¹. Шееле производил опыты над чистым хлористым серебром и показал, что на солнечном свете оно превращается в серебро. Шееле также принадлежит наблюдение, что составляющие белый свет спектральные лучи действуют неодинаково на соли серебра. Свой относящийся к этому вопросу и крайне важный опыт, в котором можно усмотреть зачатки спектральной фотографии, он описывает в следующих словах: „Поместив призму более или менее крупных размеров перед окном, дадим упасть преломленному таким образом свету на землю. Положим в область получившегося при этом спектра кусок бумаги, покрытый хлористым серебром. В фиолетовой части спектра соединение это почернеет скорее, чем в других частях его“.

Согласно воззрениям последователей теории флогистона процесс восстановления состоит, как известно², в прибавлении флогистона. Поэтому для объяснения восстанавливающего действия света Шееле допустил, что и в нем содержится флогистон. Флогистон согласно Шееле,— это элемент, который переходит из одного тела в другое, производя при этом важные изменения. Согласно Шееле флогистон соединяется также и с „огненным воздухом“. Из этого соединения Шееле выводит свет и теплоту, которые он рассматривал еще как нечто вполне материальное. Сущность флогистона становилась еще более загадочной, потому что считали невозможным получение его: предполагалось, что флогистон выделяется каким-нибудь телом лишь в том случае, когда имеется налицо другое тело, немедленно поглощающее его.

ПОПЫТКА ПОНЯТЬ СУЩНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

К концу эпохи флогистона была снова предпринята попытка объяснить сущность химических процессов при помощи силы, которую уже издавна называли химическим сродством. Это сделано было около 1775 г. шведским химиком и минералогом Бергманом, взгляды которого продолжали господствовать до начала XIX в. Бергман допускал, что любые два вещества должны обладать притяжением друг к другу, величину которого можно определить. К одному и тому же веществу различные вещества обнаруживают различное притяжение. „Если,— говорит Бергман,— заставить действовать на соединение AB третье вещество C , которое вытесняет B из соединения и становится на место него, то вместо AB получается новое соединение AC “. Поэтому, чтобы определить химическое сродство двух веществ B и C по отношению к третьему веществу A , надо только выяснить, вытесняет ли одно из этих веществ другое из его соединения с третьим веществом. Вся концепция Бергмана построена на предположении, что химическое сродство представляет собой неизменную силу, так что вещество,

¹ Experimentum curiosum de effectu radiorum solarium („Act. Acad. Nat. Cur.“, I, 1727).

² См стр. 132 настоящего тома.

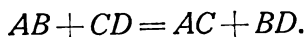
вытесняющее из какого-нибудь соединения другое вещество, не может быть обратно вытеснено им. При помощи множества точных и ценных, независимо от всяких теоретических соображений, опытов Бергману удалось построить не менее 59 таблиц химического сродства. Одну из таких таблиц мы здесь приведем в качестве примера.

КАЛИ (*)

В растворе:	При сплавлении:
Серная кислота	Фосфорная кислота
Нашатырь	Борная кислота
Соляная кислота	Мышьяковистая кислота
Фосфорная кислота	Серная кислота
Мышьяковистая кислота	Нашатырь
Уксусная кислота	Соляная кислота
Борная кислота	Уксусная кислота
Сернистая кислота	
Угольная кислота	

Согласно этим таблицам кали обладает при обыкновенной температуре наибольшим химическим сродством, т. е. наибольшим химическим притяжением, к серной кислоте, поэтому последняя в состоянии вытеснить все прочие кислоты из соединений с кали. Противопоставляя друг другу оба ряда, Бергман не думал вовсе указать на зависимость химического сродства от температуры. Правда, степени сродства, как видно из второго ряда, становятся иными, когда тела превращаются в жидкое состояние не путем растворения, а нагреванием; но по Бергману они не изменяются постепенным образом, а остаются внутри каждой группы, т. е. при прочих равных условиях, постоянными. И прежде всего по мнению Бергмана они не зависят от количества химически действующих друг на друга веществ.

Бергман ввел также понятие двойного избирательного сродства¹, хотя относящиеся сюда явления были известны и правильно объяснены уже ранее². Его попытки определить абсолютную величину сродства, т. е. выразить ее числовым образом, оказались, как он сам признается, бесплодными. Бергман изучил на многочисленных примерах двойное сродство, т. е. то явление, что два соединения переходят друг в друга по формуле:



По теории Бергмана двойное сродство вызывается тем, что сумма притяжений, действующих между *A* и *C* или *B* и *D*, больше, чем сумма притяжений между *A* и *B* и соответственно *C* и *D*. Сущность химической силы он отождествлял со всеобщим тяготением или силой тяжести. В случае химических превращений она определяется

¹ *Attractio electiva duplex*, по его выражению.

² Например, Глаубером (см. т. 2).

только фигурой и величиной молекул и поэтому проявляется как химическое притяжение переменной силы, остающейся, однако, постоянной для отдельных элементов.

После падения теории флогистона подверглось также проверке учение Бергмана о химическом сродстве. Эту критическую проверку произвел Бертоле (Berthollet), со взглядами которого на химическое сродство и причины его мы познакомимся в одной из следующих глав.

НАЧАТКИ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Бергман заслуживает внимания не только как теоретик, но и как ученый, открывший ряд новых важных фактов и методов. Прежде чем идти дальше, сообщим несколько биографических данных о нем.

Тоберн Бергман родился в 1735 г. в одном маленьком местечке Западного Готланда. В Упсале, находясь под влиянием Линнея, он изучил все отрасли естествознания. В 1767 г. он получил здесь профессию химии, хотя до тех пор он не опубликовал ни одной работы по вопросам химии. Начиная с этого момента до своей преждевременной смерти, вызванной переутомлением (1784 г.), Бергман не переставал работать на поприще химии, обогатив ее рядом важных исследований. Слава о нем проникла за границу. Фридрих Великий тщетно пытался привлечь Бергмана в Берлинскую академию наук.

В XVII в. мы встречаем у Бойля начатки анализа мокрым путем, при котором испытуемое вещество прежде всего растворяют. Исследователи XVIII в., и главным образом Бергман, превратили этот метод в первоклассное научное орудие. Бергман придал анализу мокрым путем в существенных чертах тот вид, каким им пользуются еще и в настоящее время. С особенным усердием он применил его к исследованию минералов¹. Если же он оказывался не в состоянии растворить какое-нибудь вещество в воде, то он подвергал его в мелко истолченном виде действию соляной кислоты, нашатыря или серной кислоты. В тех немногих случаях, в которых и этот способ не давал никаких результатов, Бергман применял другой метод, заключающийся в том, что испытуемое вещество до прибавления к нему кислот сплавляют с углекалиевой солью (поташом). Только благодаря этому важному усовершенствованию в искусстве анализа стало возможным выяснить состав силикатов.

Другое важное нововведение Бергмана заключалось в установлении им принципа, что при анализе какого-нибудь вещества вовсе не требуется изолировать до конца его составные части. Достаточно перевести их в легко распознаваемые, известные по своему составу соединения. Так, Бергман определял угольную кислоту при помощи известковой воды, серную кислоту при помощи хлористого бария,

¹ Dissertio metallurgica de minerarum doctmasia humida, 1780.

некоторые металлы после осаждения их со щелочью или углекалиевой солью в форме гидроокисей или карбонатов, окиси металлов в виде углекислых солей и т. д.

Наконец, заслугой Бергмана является то, что он, применив метод растворов, основал количественный анализ. Независимо от Лавуазье, которому одному часто приписывается основание количественного химического анализа, Бергман уже широко пользовался весами. Не следует, конечно, удивляться тому, что эти первые произведенные Бергманом количественные анализы были иногда довольно неточны. Так, например, он нашел значительное количество воды в минералах, не содержащих вовсе химически связанной воды, как, например, в известковом шпате (11%) и в витерите (28%). Объясняется это, очевидно, тем, что Бергман не освободил испытуемое им вещество от примешивающейся к нему в изменяющемся отношении влаги.

Однако некоторые из его анализов представляют уже значительную точность. Так, например, для кристаллической соды и гипса он нашел следующие значения:

Сода		Гипс	
Основание	20 (вместо 21,8)	Основание	32 (вместо 32,9)
Кислота	16 („ 15,4)	Кислота .	45 („ 46,3)
Вода	64 („ 62,8)	Вода . . .	22 („ 20,8)
	<hr/>		<hr/>
	100 (100)		100 (100)

Однако результаты большинства сделанных Бергманом анализов минералов настолько расходятся с правильными значениями, что они совершенно бесполезны. Они ценны только как свидетельство предпринятых Бергманом впервые попыток решить столь трудную задачу количественного анализа минералов.

Мы познакомились в общих чертах с заслугами Бергмана в области химии, но мы должны еще упомянуть некоторые из его отдельных исследований, ибо в них впервые рассматриваются такие важные проблемы, как вопрос о содержании соли в минеральных водах и в море или вопрос о химическом составе трех сортов железа: кованого железа, чугуна и стали.

Для исследования минеральных вод¹ Бергман пользовался огромным количеством реактивов. Он показал, что железисто-синеродистый калий осаждает из них железо в виде голубого, медь в виде темного и марганец в виде белого осадков, что известь выделяется из них при помощи щавелевой кислоты, хлор — при помощи раствора серебра, а серная кислота — при помощи хлористого бария. Он пытался перевести составные части минеральных вод в нерастворимые соединения, отделил различные соли прибавлением спирта и т. д.

Бергман далее первый исследовал количество содержащейся в море на различных глубинах соли. Наряду с поваренной солью,

¹ De analysi aquarum, 1778.

он нашел в морской воде также хлористый магний и сернокальциевую соль.

Основоположное значение для понимания различных сортов железа имело его сравнительное исследование кованого железа, стали и чугуна. Он обрабатывал пробы, взятые из этих трех сортов железа, при помощи кислоты и нашел, что кованое железо выделяет больше всего водорода, сталь меньше, а чугун менее всего. Из этого Бергман сделал тот вывод, что кованое железо представляет собой наиболее чистый, а чугун наименее чистый сорт железа, сталь же занимает между ними промежуточное место. В соответствии с этим он заметил, что при растворении кованого железа остается меньше всего, а при растворении чугуна больше всего какого-то осадка, который он признал графитом. На основании этого он совершенно правильно рассматривал различные сорта железа как соединения железа с большим или меньшим количеством углерода. Бергман показал далее, что так называемая „ломкость на холоду“ железа зависит от содержания в нем фосфора¹. Замечательно, что уже в то время в Швеции было предложено обесфосфоривать железо путем прибавления извести, т. е. был предложен метод, на который опирается так широко распространенный теперь процесс томасирования².

¹ Gmelin, Geschichte der Chemie.

² Об этом тоже сообщает Гмелин в цитированном сочинении.



НАЧАЛО ЭПОХИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ХИМИИ

Одним из крупнейших событий в развитии химии, означавшим наступление для нее новой эпохи, было объяснение процесса горения Лавуазье. Правда, уже в XVII в. Джон Майов рассматривал совершенно правильно горение металлов как процесс прибавления к ним одной составной части воздуха, причем вес их от этого увеличивается. Однако опытам и рассуждениям Майова не хватало еще той доказательной силы, которая присуща только количественному исследованию. Кроме того, работы его не встретили заслуженного ими внимания. Мало того, в рассматриваемую нами эпоху они были почти забыты, хотя объяснение процесса горения составляло как раз ту ось, вокруг которой вращалось тогда химическое исследование.

Если Шееле не мог понять сущность столь классически исследованных им явлений, то лишь потому, что он тоже не учитывал в достаточной мере существующих между ними количественных отношений. Но лишь только обратили внимание и на эту сторону дела, как скрывавшее истину покрывало должно было на той ступени развития, которую достигла химия благодаря работам Шееле и Пристли, сразу упасть. Для этого не нужно было никакого нового открытия, а достаточно было только последовательного применения к изучаемым явлениям методов измерения и взвешивания. Неоспоримой великой заслугой француза Лавуазье было то, что он сделал этот важный шаг.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАВУАЗЬЕ

Различие между методами Лавуазье и Шееле можно лучше всего уяснить, взяв какой-нибудь вопрос, бывший объектом исследования обоих этих ученых. В течение XVII в. составилось мнение, утвердившееся особенно благодаря одному опыту ван-Гельмонта¹ — будто вода может превращаться в твердые землистые вещества. В XVIII в. возникли сомнения в этом. Как Шееле, так

¹ См. т. 2.

и Лавуазье решили выяснить этот вопрос путем эксперимента. „Я налил, — говорит Шееле¹, — пол-лота дистиллированной снеговой воды в стеклянную колбу, снабженную тонким, длиною в локоть, горлышком, и плотно закрыл ее пробкой. После этого я повесил колбу над горящей лампой и в течение двенадцати дней и ночей непрерывно кипятил воду. После двух дней кипячения вода приобрела несколько беловатый вид. После шести дней она похожа была на молоко, а на двенадцатый день она, казалось, уже уплотнилась“. Внутренняя поверхность колбы до того места, до которого доходила кипящая вода, оказалась изъеденной, а придававшее воде мутный вид и частично растворившееся в ней вещество содержало в себе, как показало качественное исследование, составные части, из которых состоит стекло, именно щелочь, известь и кремневую кислоту. „Мог ли я, — продолжает Шееле, — еще сомневаться в том, что вода при постоянном кипении способна разъесть стекло? Полученная мной земля вовсе не возникла из самой воды“.

Совсем иначе поступил Лавуазье², пришедший, однако, к тому же самому результату. Качественный анализ содержащихся в воде веществ представил бы для него большие трудности. Но Лавуазье в нем и не нуждался, прибегнув для решения вопроса к чисто количественному методу. Влив воду в стеклянный сосуд, он взвесил его и закрыл и в течение примерно ста дней кипятил в нем воду. После этого он показал, что пустой сосуд потерял в весе ровно столько, сколько весили растворившиеся в воде и оставшиеся после выпаривания ее вещества.

Во всех своих исследованиях Лавуазье поступал точно так, как в указанном случае. Качественная сторона изучавшихся им явлений была в большинстве случаев установлена еще работами сторонников теории флогистона. Но Лавуазье сумел благодаря точности своих измерений и взвешиваний, а также логической строгости вытекающих из них выводов найти связующую нить явлений и создать химическую систему и номенклатуру, облегчившие классификацию и описание всех известных тогда и всех открытых впоследствии фактов.

Антуан-Лоран Лавуазье родился 26 августа 1743 г. в Париже. Его отец, разбогатевший купец, очень интересовался естественными науками и поручил выдающимся ученым обучить этим наукам своего сына. Молодого Лавуазье, получившего также отличное математическое образование, особенно привлекали приложения химии к практической жизни. Двадцати лет от роду он решил одну, предложенную французским правительством задачу из области техники. Полученную им премию он великодушно предоставил своим конкурентам, чтобы вознаградить их за понесенные ими убытки, а сам удовлетворялся связанной с премией медалью. Двадцати пяти лет от роду (1768 г.) Лавуазье стал членом Академии наук. Вскоре затем он получил место генерального откупщика. Доходы с откупа

¹ Ostwalds Klassiker, № 58, стр. 5.

² Lavoisier, Sur la nature de l'eau, Mém. de Paris, 1770.

АНТУАН ЛАВУАЗЬЕ

1743—1794

он тратил на свои требовавшие крупных средств опыты. Впоследствии ему поручили заведывание селитренными и пороховыми заводами, — пост, для которого Лавуазье благодаря своим химическим знаниям и своему практическому смыслу был вполне подходящим человеком.

Крупнейшим предшественником Лавуазье был Майов, с опытами и взглядами которого мы подробно ознакомились уже раньше (т. II). Следует упомянуть также французского врача Жана Рейя (Rey) (умер в 1645 г.), написавшего работу об увеличении веса металлов при обжиге их (появилась в 1630 г.)¹. Рей приступил к исследованию рассматриваемого вопроса под влиянием сообщения одного аптекаря. Последний, желая расплавить и обжечь в железном котле олово, предварительно взвесил его. После того как все олово превратилось в белую известь, он снова взвесил массу и нашел, к своему изумлению, что она весит значительно больше, чем насыпанное первоначально в котел олово. Для объяснения этого загадочного явления он обратился к Рею. Рей убедился, что в процессе обжига играет роль воздух. Еще до того, как Торичелли и Герике произвели свои основоположные опыты над давлением и весом воздуха, он приписал последнему тяжесть. Однако Рей еще не понимал, что процесс обжига состоит в соединении воздуха с металлом. Он придерживался скорее того взгляда, что „воздух смешивается с известью и висит крепко на мельчайших ее частицах“².

Лавуазье вычитал у Бойля, что если нагревать свинец и олово в закрытых, наполненных воздухом сосудах, то они превращаются в соответствующие извести, причем вес их увеличивается. Так как этот факт не согласовался с господствующей теорией, то Лавуазье решил выяснить истинную причину его путем опытов и объективного истолкования их. Взвесив некоторое количество олова, он поместил его в реторту, наглухо закрыл последнюю и нагревал ее до тех пор, пока олово не превратилось в землистую массу. Взвесив после охлаждения реторту снова, он нашел, что вес ее не изменился. Таким образом гипотеза Бойля, будто процесс обжига состоит в том, что некоторое гипотетическое вещество проходит через стенки реторты и соединяется с металлом, оказалась несостоятельной. После этого Лавуазье открыл реторту, в которую проник воздух, благодаря чему она приобрела больший вес. Взвесив получившуюся оловянную золу, Лавуазье убедился, что увеличение веса реторты от вторжения в нее воздуха равнялось в точности приращению веса олова внутри реторты. На основании этих опытов процесс обжига металлов можно было объяснить только как соединение этих веществ с воздухом при соответствующем увеличении их веса. В 1772 г. Лавуазье сообщил Академии наук о результатах своих опытов. Однако результатами этими нельзя было удовлетвориться, пока не был известен состав воздуха. Только

¹ Переведенная на немецкий язык и снабженная примечаниями, она вышла в виде 172-го тома оствальдовской серии классиков точного знания (J. pr., W. Engelmann, 1909).

² Ostwalds Klassiker, № 172, стр. 28.

после того, как Пристли во время своего пребывания в Париже в 1774 г. познакомил Лавуазье с кислородом и способом добывания его из красной окиси ртути, французский исследователь получил ключ к полному пониманию своих опытов. Вскоре затем, действительно, появилась работа Лавуазье¹, объяснявшая до конца сущность горения и восстановления. Согласно Лавуазье горение, которому аналогичен процесс обжига металлов, заключается в соединении горючего тела с одной из составных, поддерживающих горение частей воздуха, „дефлогистированным“ или „огненным воздухом“ прежних химиков, который Лавуазье сперва назвал „чистым воздухом“, а потом, когда он уяснил себе его значение при образовании кислот, — кислородом.

ЛАВУАЗЬЕ ИССЛЕДУЕТ ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ

„У химии,—говорит Лавуазье при описании своих опытов,— есть вообще два способа определить состав какого-нибудь вещества: синтез и анализ. Не следует считать себя удовлетворенным, пока не удастся использовать оба эти способа проверки. Исследование атмосферного воздуха обладает этим преимуществом; ибо оно позволяет разложить воздух, а затем снова соединить его“.

Лавуазье взял длинногорлую колбу (рис. 29), объем которой равнялся приблизительно 36 куб. дюйм. Он согнул ее таким образом, что ее можно было положить в печь *MMNN*, между тем как конец *E* помещался под колоколом *Fg* в ртутной ванне *RR* (рис. 30). В эту колбу он влил 4 унции очень чистой ртути. Выкачав часть воздуха из колокола *Fg*, он добился того, что ртуть поднялась до *LL*. Он тщательно отметил этот уровень и заметил положение барометра и термометра. После этого Лавуазье развел в печи огонь и поддерживал непрерывно в течение 12 дней ртуть в состоянии кипения.

В течение первого дня Лавуазье не мог отметить ничего особенного. На второй день он увидел, как на поверхности ртути появились небольшие красные пятна. Пятнышки эти увеличивались в числе и величине до пятого дня, после чего они перестали расти, оставаясь в одном и том же состоянии. После того как процесс дальнейшего обжига ртути остановился, Лавуазье погасил огонь и дал охладиться сосудам. Объем всего воздуха, находившегося в колбе и под колоколом, равнялся до опыта — при приведении к давлению в 28 дюйм. и температуре в 10° — 50 куб. дюйм. После опыта объем этот — при той же температуре и давлении — равнялся только 42—43 куб. дюйм. Таким образом произошло уменьшение объема примерно на $\frac{1}{6}$. После этого Лавуазье тщательно собрал всю образовавшуюся красную массу, очистив ее по возможности от ртути. Вес ее равнялся 45 грамам².

¹ Однако без упоминания роли Пристли! (Примечание Э. Ф. Липпмана).

² Медицинский фунт равнялся 12 унциям, а унция 480 грамам (1 гран равен примерно 0,06 г).

Оставшийся после этого воздух, который благодаря обжигу ртути уменьшился на $\frac{1}{6}$ своего объема, не годился больше ни для дыхания, ни для горения. Животные, которых вводили в него, умирали через несколько секунд, а свеча немедленно гасла в нем.

После этого Лавуазье поместил 45 гран получившегося красного вещества в маленький стеклянный сосуд, который он соединил с прибором, приспособленным для собирания получающихся жидких и газообразных продуктов. Когда он начал согреть сосуд, красное вещество стало уменьшаться в объеме и через несколько минут совершенно исчезло. В то же время в этом сосуде получилось

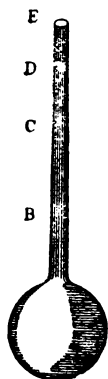


Рис. 29. Колба для анализа атмосферного воздуха.

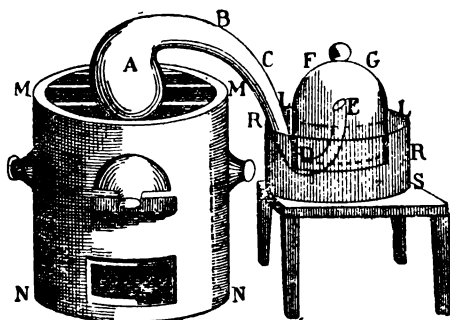


Рис. 30. Анализа атмосферного воздуха путем нагревания ртути в закрытом объеме воздуха.

41,5 грана жидкой ртути, а под колоколом 7—8 куб. дюйм. газа, который способен был поддерживать горение и дыхание гораздо лучше, чем атмосферный воздух.

„Этому газу, — говорит Лавуазье, — открытому почти одновременно Пристли, Шееле и мною ¹, я намерен дать название кислорода, ибо одним из его важнейших свойств является то, что при соединении с большинством веществ он образует кислоты. Анализируя результаты этого опыта, можно убедиться, что ртуть при обжиге поглощает часть воздуха, служащую для дыхания, и что остальная часть воздуха неспособна поддерживать ни горения, ни дыхания. Таким образом атмосферный воздух состоит из двух газов, обладающих различными и, можно сказать, почти противоположными свойствами“.

Для проверки этого важного открытия Лавуазье поступил следующим образом. Взяв оба газа в найденном им отношении (42 : 8), он соединил их и получил таким образом газ, который во всех

¹ В действительности Лавуазье не открыл кислорода! И в других случаях Лавуазье присваивал себе открытия других исследователей, изменяя иногда даже даты своих работ. (Примечание Э. Липпмана).

отношениях был похож на атмосферный воздух и подобно последнему способен был поддерживать горение, дыхание и обжиг металлов.

Если Лавуазье нагревал красную окись ртути не отдельно саму по себе, а прибавив к ней уголь, то на месте кислорода получался „сгущенный воздух“. Это значит, умозаключил Лавуазье, что последний может представлять только соединение углерода и кислорода. Другим подтверждением этого умозаключения служило то, что Лавуазье получил при сжигании древесного угля в кислороде тоже „сгущенный воздух“ (CO_2). Тот же газ получался, когда Лавуазье вместо древесного угля взял алмаз, который он зажег при помощи большого вогнутого зеркала в стеклянном сосуде, наполненном кислородом. Только благодаря такой модификации опыта, произведенного лет за сто до того во Флоренции, удалось выяснить сущ-

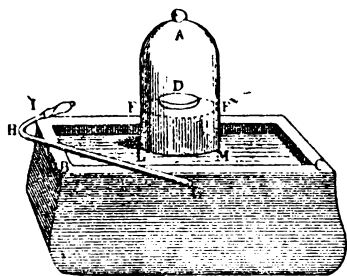


Рис. 31. Сжигание фосфора под стеклянным колоколом.

ность этого загадочного минерала; алмаз оказывался не чем иным, как кристаллическим углеродом. Точно так же удалось теперь объяснить другое загадочное явление, которое никоим образом как будто не согласовалось с флорентинским опытом, именно тот факт, что, если покрыть алмаз угольным порошком, то его можно подвергать сильнейшему жару, нисколько не изменяя его. Дело в том, что алмаз — вещество неплавящееся. От жара он не улетучивается, и только в присутствии кислорода он превращается в газообразное

соединение, в „сгущенный воздух“ или углекислый газ.

Уже в 1772 г. в одной, относящейся к проблеме обжига и связанной с трудами Бойля, количественной работе Лавуазье распространил свои опыты на фосфор и серу и установил, что и у этих тел при процессе горения происходит увеличение их веса. Естественна была мысль объяснить и это увеличение соединением с кислородом. Чтобы проверить это, Лавуазье внес под колокол в воздух, отделенный ртутью от наружного воздуха, фосфор и зажег его. Оставшийся после горения фосфор можно было расплавить и даже заставить кипеть, причем он не загорался. Загорался он лишь тогда, когда под колокол снова вводили воздух.

Для зажигания фосфора в чистом кислороде Лавуазье поступил следующим образом: наполнив кислородом стеклянный колокол объемом приблизительно в 6 л, он ввел туда $61\frac{1}{4}$ грана фосфора. Ртуть стояла в колоколе на уровне *EF*. Вслед затем Лавуазье зажег фосфор при помощи согнутой и раскаленной полоски железа. Горение происходило очень быстро, причем выделялось значительное количество теплоты и света. В первый момент произошло вследствие нагревания значительное расширение кислорода, но вскоре ртуть поднялась выше своего первоначального уровня, свидетельствуя этим о значительном уменьшении объема кислорода.

Одновременно с этим вся внутренняя поверхность колокола покрывалась белыми хлопьями.

В начале опыта объем кислорода равнялся (принимая во внимание все надлежащие поправки) 162 куб. дюйм., а к концу его кислорода осталось только 23,25 куб. дюйма. Таким образом было поглощено 138,75 куб. дюйма или 69,375 грана кислорода. Фосфор сгорел не весь; в чашке осталось несколько кусков его, которые были отмыты, чтобы освободить их от получившихся белых хлопьев. В сухом виде вес их равнялся приблизительно $16\frac{1}{4}$ гранам.

Таким образом вес сгоревшего фосфора равнялся 45 гранам, которые соединились с 69,375 грана кислорода. Так как через стекло не могло пройти никакой весомой материи, то вес образовавшегося при горении и отложившегося в виде белых хлопьев вещества должен был равняться сумме весов кислорода и фосфора, т. е. 114,375 грана¹.

ПРИРОДА ВАЖНЕЙШИХ ОКИСЕЙ

На этих примерах мы видим, как Лавуазье стремился исследовать каждый химический процесс с качественной и количественной стороны. Правда, полученные им числовые результаты часто значительно отклоняются от соответствующих значений, принятых в настоящее время. О качественной стороне последнего, описанного нами опыта Лавуазье пишет следующее: „Вследствие сгорания — происходит ли оно в обыкновенном воздухе или в кислороде — фосфор превращается, как упомянуто, в белое хлопьевидное вещество и приобретает совсем новые свойства. Прежде он не был растворим в воде, теперь же он не только растворяется в ней, но притягивает с изумительной жадностью всю содержащуюся в воздухе влагу и превращается в жидкость, имеющую гораздо больший удельный вес, чем вода. До сгорания фосфор почти лишен вкуса, после соединения с кислородом он приобретает очень резкий кислый вкус. Наконец, из горючего вещества он делается негорючим и становится тем, что называется кислотой“.

Так как при соединении фосфора и серы с кислородом образуются ангидриды фосфорной кислоты и сернистой кислоты, из коих

¹ Немецкий музей в Мюнхене обладает копиями изображенных на рис. 30 и 31, а также и других приборов Лавуазье. Они находятся в зале, которая посвящена химии XVIII в. и содержит также ряд предметов, напоминающих о деятельности Шееле, Пристаи и других тогдашних сторонников флогистона. Оригинальные приборы Лавуазье сохраняются в Парижской Conservatoire des arts et métiers, которая посвящена памяти великих исследователей и изобретателей и соответствует таким образом Немецкому музею в Германии и Южно-Кенсингтонскому музею в Лондоне.

Все развитие химии представлено в Немецком музее в пяти следующих друг за другом лабораториях, по которым можно познакомиться с отдельными этапами истории этой науки. Так, флогистонской лаборатории предшествует алхимическая лаборатория (XVI и XVII вв.). Лаборатория же Либиха посвящена Либиху, Бунзену (Bunsen), Велеру (Wöhler), Мигчерлиху (Mitscherlich) и др., содержа по большей части приборы, изготовленные упомянутыми исследователями.

последняя при дальнейшем окислении и прибавлении воды превращается в серную кислоту, то газ, который Лавуазье до тех пор называл „чистым воздухом“, стал рассматриваться им как кислотообразующее начало. Это воззрение, подвергшееся существенному ограничению впоследствии, — когда познакомились с лишенными кислорода кислотами, вроде соляной и синильной, — нашло серьезную опору в исследовании Лавуазье над азотной кислотой¹. Взвесив некоторое количество ртути, Лавуазье растворил ее в азотной кислоте HNO_3 ; при этом получился газ, названный Пристли селитренным воздухом NO_2 . Когда стали нагревать получившееся после выпаривания соединение $\text{Hg}[\text{NO}_3]_2$, то происходило дальнейшее выделение селитренного воздуха, а в остатке получилась красная окись ртути², которая при нагревании распалась на кислород и ртуть, равную по весу первоначальному количеству ее. Так как ртуть получилась целиком в первоначальном количестве, то кислород и селитренный воздух могли возникнуть только из азотной кислоты. Соединяя оба эти газа с водой, Лавуазье сумел получить обратно азотную кислоту и придать благодаря этому синтезу еще больший вес своим умозаключениям.

Вполне выяснена была химическая природа азотной кислоты благодаря одному важному, сделанному сторонником теории флогистона, Кавендишем, открытию. Кавендиш, исходя из наблюдения Пристли, что воздух от продолжительного воздействия на него электрических искр испытывает химическое изменение, показал, что при этом составные части воздуха соединяются в азотную кислоту³. Благодаря произведенному таким образом синтезу азотной кислоты и сделанному Лавуазье анализу ее проблема азотной кислоты была решена. Что селитра, получающаяся путем насыщения азотной кислоты щелочью, тоже содержит кислород, — это Лавуазье доказал тем, что при нагревании селитры с углем образуется сгущенный воздух (CO_2).

ГОРЕНИЕ И ДЫХАНИЕ

Благодаря новой теории получил правильное объяснение не только процесс горения, но и процесс дыхания. Дыхание состоит по Лавуазье в соединении кислорода с составными частями органического вещества, причем здесь, как и при горении, выделяется теплота. В самом важном продукте дыхания, углекислоте, углерод берется из организма, кислород же из воздуха. Аналогия между обоими процессами подтверждается, по мнению Лавуазье, далее тем, что он получал углекислоту (и воду) также при сжигании органических веществ, как, например, сахар, растительное

¹ Sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux, Mém. de Paris, 1776.

² $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 = \text{HgO} + 2\text{NO}_2 + \text{O}$.

³ В опыте Кавендиша получившаяся азотная кислота поглощалась раствором едкого кали; Кавендиш заметил, что при этом остается некоторый непоглощенный остаток. Объяснение этого факта было дано лишь в 1894 г. благодаря открытию аргона

масло и воск. Определив на основании количества получившейся углекислоты и воды количество содержащихся в сгоревших веществах углерода и водорода, Лавуазье стал основателем элементарного анализа органических соединений.

Процесс брожения Лавуазье рассматривал совершенно правильно как распадение тройного, т. е. состоящего из трех элементов (С, Н и О), органического соединения—именно сахара—на спирт, содержащий сравнительно небольшое количество кислорода, и на богатое кислородом двойное соединение, углекислоту. Если бы можно было соединить спирт с углекислотой, то, как правильно предполагал Лавуазье, должен был бы снова получиться сахар.

В дальнейшем Лавуазье пытался установить относительный вес составных частей исследовавшихся им веществ. Так, он определил количественный состав углекислоты, окисляя при помощи сурика некоторое взвешенное до того количество угля. Из потери при этом веса сурика он вычислил, что в углекислоте содержится 72,1% кислорода, — результат довольно близкий к истинному значению (72,7%).

К началу 80-х годов XVIII в. Лавуазье благодаря своим собственным исследованиям и работам Кавендиша вполне выяснил также природу воды. В 1781 г. Кавендиш доказал, что при соединении водорода с кислородом образуется исключительно вода, причем 100 единиц объема кислорода соединяются с 201,5 единицы объема водорода. Лишь значительно позже было установлено, что в действительности имеет место простое отношение 100 : 200. За этим синтезом воды последовал анализ ее Лавуазье, пропускавшим в своем опыте водяные пары через трубку, в которой находилось раскаленное железо. Железо в этом опыте окислялось с выделением водорода. Разложение 100 весовых единиц воды давало увеличение веса железа на 85 единиц за счет кислорода воды, 15 же единиц водорода собиралось. Результат этот недостаточно точен, ибо согласно позднейшим опытам составные части воды находятся между собой в отношении 89 : 11.

В середине 80-х годов антифлогистонная теория, с развитием которой мы познакомились в предыдущем изложении, была в основных чертах завершена. Несколько лет спустя Лавуазье дал блестящее изложение ее в своем учебнике химии, откуда мы заимствовали вышеприведенные образчики его экспериментального искусства.

Все старания спасти флогистонную теорию были тщетны: Шееле и Пристли унесли ее с собой в могилу. Однако Лавуазье не дождался всеобщего признания нового учения¹. Год появления вышеназванного учебника его был также годом рождения Фран-

¹ G. W. A. Kahlbaum und A. Hoffmann, Die Einführung der Lavoitierschen Theorie im besondern in Deutschland (Monographien aus der Geschichte der Chemie, I Heft, Leipzig 1897). Согласно утверждению этих авторов, предположение, будто Германия противилась признанию учения Лавуазье дольше, чем другие страны, ошибочно.

цузской революции. Учредительное собрание еще пользовалось услугами Лавуазье, но во время террора он был осужден за государственную измену и казнен (8 мая 1794 г.)

Влияние созданных Лавуазье теорий и методов было колоссально. Химия теперь стала равноправной с физикой, которая ведь тоже была обязана своим расцветом применению количественных методов. Далее благодаря работам Лавуазье получил всеобщее признание принцип, являющийся необходимой предпосылкой количественного метода, именно тот принцип, что при химических процессах ничто не возникает и ничто не исчезает, а что сумма всех участвующих в процессе веществ остается неизменной величиной (*). Против этого тезиса, который кажется почти чем-то самоочевидным, а в действительности является результатом опыта, грешили даже многие выдающиеся химики еще в XVIII в ¹.

Столь же строго формулировал Лавуазье введенное уже Бойлем понятие химического элемента. Под элементом он понимает всякое вещество, которое не может быть разложено на более простые вещества ². В качестве элемента в этом смысле он рассматривает одни только известные ему тогда тяжелые металлы и вещества, названные впоследствии металлоидами, именно кислород, водород, азот, углерод, серу и фосфор. Согласно этому определению, элементами должны были считаться также щелочи и земли, но Лавуазье высказывает уже догадку, что вещества эти, похожие во многих отношениях на „известы“ (окислы) металлов, представляют собой соединения некоторых еще неизвестных металлов с кислородом. Догадка эта была впоследствии блестяще подтверждена электрохимическими исследованиями.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЧЕНИЯ ЛАВУАЗЬЕ

Вначале взгляды Лавуазье не встречали признания. К его учению раньше всех склонились некоторые крупные физики и математики, среди которых в первую очередь следует назвать Лапласа. Однако в области химии этим исследователям нехватало надлежащего авторитета, чтобы содействовать победе нового, революционного учения. Первым выдающимся химиком, признававшим антифлогистонную теорию, был Бертолле (Berthollet). Его исследования о химическом сродстве сыграли крупную роль в дальнейшем развитии физической химии.

Жизнь Бертолле связана больше, чем жизнь какого-либо дру-

¹ Ясную формулировку этого принципа о неразрушимости вещества мы встречаем уже у Галилея в его диалоге о двух системах мира (нем. изд. Штраусса, стр. 47). См. также т. 2 настоящего сочинения.

² Это определение встречается уже у Аристотеля. Греческим философам был также известен уже принцип неуничтожаемости вещества. Примечание Э. Липпмана.

того исследователя, с великим экономическим и политическим переворотом, пережитым Францией в революционную эпоху. Биография этого ученого показывает, до какой степени могучий расцвет и подъем всех национальных сил тогдашней Франции связаны были с расцветом экспериментальной науки и техники.

Клод-Луи Бертолле родился в 1748 г. в Савойе. Первоначально он изучал медицину и в 1772 г. сделался в Париже лейб-медиком герцога Орлеанского. Занимая эту должность, он все же находил досуг для основательных занятий химией. Благодаря этим исследованиям, относившимся, как и работы Лавуазье, к вопросу о роли атмосферного воздуха, Бертолле стал в 1780 г. членом Академии наук. Вскоре затем правительство поручило ему технический надзор над государственными красильными заведениями. Бертолле ввел в красильное дело многочисленные усовершенствования, которые он затем собрал в особом произведении. Одним из этих особенно известных усовершенствований было применение хлора в качестве средства для белиения.

Совершенно исключительную деятельность в области технической химии Бертолле развил тогда, когда отечество его в связи с революционными войнами оказалось отрезанным от границы и предоставленным исключительно своим собственным ресурсам. Бертолле дал огромный толчок изготовлению стали и селитры. В 1792 г. Бертолле стал во главе монетного дела, а вскоре затем был назначен членом особой комиссии, которая должна была поднять благосостояние страны путем содействия промышленности и сельскому хозяйству. Одновременно с этим он был назначен преподавателем химии в *École Normale*.

После завоевания Италии Директория послала туда Бертолле, чтобы отобрать среди научных произведений этой страны те из них, которые следует перевести в Париж. В связи с этим Бертолле познакомился с Наполеоном, который, подобно Фридриху Великому, всегда живо интересовался и содействовал — в целях правильно понятого собственного интереса — точным наукам. Бертолле читал Наполеону лекции по химии и сопровождал его в его походе в Египет. Несмотря на все знаки милости, которыми Наполеон осыпал после своей коронации великого исследователя, последний никогда не унизился до роли придворного льстеца, а сохранял те бесстрашие и прямоту, которые никогда не покидали его. После падения императора Бертолле удалился в свое имение в местечко Аркей (*Arcueil*), расположенное под Парижем. Местечко это завоевало себе имя в истории наук, ибо наиболее выдающиеся ученые страны объединились там вокруг Бертолле в научное общество *Société d'Arcueil*. В записках этого общества был опубликован ряд выдающихся экспериментальных исследований той эпохи¹. Бертолле умер в 1822 г.

¹ *Mémoires de la Société d'Arcueil*. *Société d'Arcueil* образовалось в 1807 г. Оно просуществовало десять лет. В него входило лишь немного членов, принадлежавших, однако, к числу крупнейших французских естествоиспытателей.

Мы уже упоминали, что Бертолле был первым химиком, признавшим антифлогистонное учение. На основании собственных исследований он пришел в начале 80-х годов XVIII в. к убеждению, что фосфор, мышьяк и сера соединяются с кислородом, образуя кислоты, причем вес их увеличивается. Бертолле же принадлежат важные опыты, выяснившие химическую природу аммиака, сероводорода и синильной кислоты. После того как Пристли доказал, что объем аммиачного газа увеличивается под действием электрического разряда, Бертолле определил размеры этого увеличения (как известно, происходит увеличение объема вдвое). Он доказал, что аммиак при этом разлагается на водород и азот. Результат этот был использован впоследствии Гей-Люссаком, когда он исследовал объемные отношения газов при вступлении их в химические соединения¹. Исследования Гей-Люссака насчет цианистых соединений тоже основывались на работах Бертолле, показавшего, что синильная кислота HCN состоит только из углерода, азота и водорода. Бертолле же показал, что сероводород H₂S состоит только из серы и водорода, не содержа вовсе, как это раньше думали, кислорода. Работы Бертолле над хлором, которые мы рассмотрим другом месте в связи с теорией Дэви (Davy) о водородных кислотах, привели его к открытию хлорновато-калиевой соли KClO₃ и лежащей в основе этой соли кислоты.

ИССЛЕДОВАНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ВОПРОСУ О ХИМИЧЕСКОМ СРОДСТВЕ

Бертолле содействовал прогрессу не только экспериментальной химии и химической техники, но и теоретической химии. Особенную славу доставили ему в этой области его обширные исследования по вопросу о сущности химического сродства.

Прежние попытки выяснить сущность химического сродства не дали никаких положительных результатов, ибо ученые не принимали в расчет физических условий, при которых происходят химические процессы. В своих „Исследованиях о законах сродства“² — сочинении, не лишенном ряда недостатков и ошибок, — Бертолле успешно протестовал против этого одностороннего подхода к фактам. „Если мы хотим, — такими словами начинает Бертолле это сочинение, — притти к удовлетворительной теории химического сродства и получить таким образом объяснение химических явлений, то мы должны принять во внимание все обстоятельства, влияющие на эти явления“.

¹ D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4-е изд., отдел 22.

² Berthollet, Untersuchungen über die Gesetze der Verwandtschaft, 1801. В немецком переводе вышел в качестве 74-го томика остальдовской серии классиков точного знания у В. Энгельмана в Лейпциге.

До тех пор пока Бертолле не занялся этим вопросом, в химии господствовали основывавшиеся на многочисленных произведенных с 1775 г. опытах взгляды Бергмана¹, согласно которым химическое сродство представляет собой постоянную величину, мало зависящую от внешних условий. В противоположность этому Бертолле старался доказать, что „химическое сродство не действует, как какая-то абсолютная сила“. Если нужно сравнить деятельность двух веществ, продолжает Бертолле, то надо принимать в расчет не только силу сродства, но и количество сравниваемых веществ. Бертолле приписывал такое исключительное значение этому последнему фактору — придя благодаря этому, в конце концов, к неверным выводам — под влиянием своей теории химического сродства. Дело в том, что Бертолле отождествлял его с силой тяжести. И подобно тому как последняя определяется величиной тяготеющих друг к другу масс, так и химическое притяжение, представляющее частный случай этой универсальной силы, должно зависеть от масс действующих друг на друга веществ. Всеобщее притяжение действует в случае химических превращений иначе, чем между удаленными друг от друга массами, ибо в первом случае оно определяется фигурой и в особенности связью частиц, их отношением к растворителям, их летучестью и т. д.

Последнее из упомянутых обстоятельств, именно влияние летучести, Бертолле объясняет очень удачным образом. Если какое-нибудь вещество, говорит он, в момент своего выделения из некоторого соединения переходит в летучее состояние, то улетучившаяся в газообразном виде часть не принимает более участия в сопротивлении разложению, которое поэтому может быть доведено до конца действующим веществом. Последнего можно ввиду этого брать ровно столько, сколько необходимо для соединения, в которое оно должно быть переведено. Примером может служить сильно летучая углекислота, когда она соединена с каким-нибудь основанием и ей противопоставлена другая, менее летучая кислота. Эта вторая кислота способна выделить углекислоту из ее соединения даже в том случае, если сама она обладает более слабым сродством с рассматриваемым основанием.

Выдвигание этого нового момента нанесло серьезный удар прежней классификации сил химического сродства, основывавшейся на предположении, что одна кислота вытесняет другую при помощи сродства, действующего как некоторая постоянная сила. К этому Бертолле прибавил в качестве второго, определяющего химические превращения фактора растворимость или нерастворимость возникающих соединений. Нижеследующее рассуждение покажет, как Бертолле представлял себе роль труднорастворимости, или, как он выражается, сцепления веществ.

Если на какое-нибудь соединение *ab*, например сернонатриевую соль, действует какое-нибудь вещество *c*, например барий в каком-нибудь растворимом соединении, способное образовать с одной из

¹ См. стр. 139 настоящего тома.

составных частей этого соединения какое-нибудь нерастворимое тело, то c вполне разлагает ab . В частности, в нашем случае образуется сернобариевая соль, ибо это соединение нерастворимо, осаждается и поэтому выходит из сферы действия химического сродства таким же образом, каким выходят из него другие соединения вследствие своей летучести. Таким образом то обстоятельство, что c вместе с составной частью a соединения ab выделяется в виде осадка ac , вовсе не доказывает, что c обладает бóльшим, чем b , химическим сродством с a . Если бы действовали одни только силы химического сродства, то c распределилось бы между a и b . „Но дело в том, — говорит Бертолле, — что часть c , соединяющаяся с a , каждый раз выделяется вследствие своей нерастворимости, так что под конец a целиком соединяется с c , если только последняя действует в избыточном количестве. Поэтому, если в каком-нибудь веществе, благодаря тому, что оно соединяется с другим веществом в определенном отношении, возникает стремление к переходу в твердое состояние, то в силу именно этого стремления получается необходимым образом выделение этого соединения, независимо от действия сил химического сродства“.

Огромной заслугой Бертолле является то, что при рассмотрении явлений химического сродства он первый оценил по достоинству значение таких физических явлений, как летучесть и растворимость.

Бертолле очень правильно учитывал также действие теплоты, хотя его теоретические взгляды на сущность теплоты не были верны. Достаточно одного примера, чтобы показать это. Если мы обратимся к вышеприведенной бергмановской таблице химического сродства¹, то согласно нее в случае химического превращения мокрым путем фосфорная кислота обладает меньшим химическим сродством с едким калием, чем серная кислота; если же реакция происходит сухим путем, т. е. при сплавлении, то серная кислота, наоборот, обладает меньшим химическим сродством с едким калием, чем фосфорная кислота. Эту разницу Бертолле вполне правильно объясняет летучестью одной из этих кислот и огнестойкостью другой кислоты. „Надо, — говорит он, — отнести за счет действия теплоты тот факт, что все огнестойкие кислоты вытесняют при достаточно высокой температуре летучие кислоты из их соединений. И так как в этом отношении кислоты очень отличаются друг от друга, то известные кислоты приходится рассматривать по отношению к одним кислотам как постоянные, по отношению же к другим кислотам, как летучие“. Такое промежуточное место занимает, например, серная кислота. При средней температуре она выделяет соляную и азотную кислоты из их солей, при более же высокой температуре она сама выделяется фосфорной кислотой из своих солей. И это происходит, как замечает Бертолле, независимо от степени химического сродства. Последнее будет действовать самым полным образом лишь тогда, когда ни одно из взятых веществ не

¹ См. стр. 139 настоящего тома

осадится и не перейдет в газообразное состояние, ускользая таким образом от действия химической реакции, т. е. лишь тогда, когда возникающие соединения остаются в растворе. Смешаем, например, сернокалиевую соль с каким-нибудь основанием; если все останется в растворе, то радикал кислоты распределится между металлами пропорционально силам химического сродства, но также и пропорционально количествам этих металлов. Или, беря другой пример: если прибавить к растворенной сернокалиевой соли азотную кислоту, то тоже, когда все останется в растворе, произойдет распределение одного вещества между двумя другими согласно закону химических масс, т. е. пропорционально химическому сродству и количеству действующего вещества. „Если два основания,— формулирует Бертолле первый случай,— действуют на кислоту, то последняя распределяется между ними пропорционально их химическим силам“¹.

Преувеличенно подчеркивая эти принципы, подробно развитые им в большем сочинении о „Химической статике“, Бертолле пришел к ошибочному взгляду, будто два каких-нибудь вещества соединяются между собой в непрерывно изменяющихся отношениях, что противоречило вскоре затем основанному Далтоном и Прустом (*) (Proust) учению о неизменных и кратных отношениях. На этом противоречии мы остановимся в другом месте.

Большой заслугой Бертолле является доказательство действия масс, т. е. того факта, что ход какой-нибудь реакции определяется не только природой вступающих в химическое взаимодействие веществ, но и количеством их, благодаря чему иногда может происходить даже обращение реакции. „Для доказательства факта,— замечает Бертолле при объяснении подобных случаев,— что химические действия зависят не только от химического сродства взятых веществ, но и от количества их, довольно указать на то обстоятельство, что часто достаточно только изменить количество этих веществ, чтобы притти к противоположным результатам“.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТОГО, ЧТО ХЛОР ЕСТЬ ЭЛЕМЕНТ

В начале антифлогистонной эпохи большую роль играл спор о химической природе хлора. Шееле открыл это замечательное вещество, воздействуя соляной кислотой на перекись марганца. Исходя из теории флогистона и принимая, что соляная кислота содержит „флогистон“, Шееле назвал хлор „дефлогистированной соляной кислотой“; он предполагал, что перекись марганца отнимает у соляной кислоты флогистон². Лавуазье выяснил истинную сущность процессов окисления и восстановления. Лавуазье считал кислород кислотообразующим началом. Подобно кислотам фосфора, серы и других радикалов или элементов и соляная кислота должна

¹ Ostwalds Klassiker, № 74, стр. 51.

² Подробнее о флогистонной теории см. стр. 132 настоящего тома.

представлять собой соединение кислорода с некоторым соответствующим фосфору или сере радикалом (*radical muratique*).

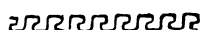
На основании некоторых опытов можно было предполагать, что и хлор тоже является каким-то соединением кислорода. Так, Бертолле, подвергая действию солнечного света растворенный в воде хлор, наблюдал выделение кислорода при одновременном образовании соляной кислоты. Опыт этот толковали как процесс разложения хлора на кислород и соляную кислоту. Хлор являлся таким образом высшим окислом радикала соляной кислоты. На этом основании хлор называли окисленной соляной кислотой.

Только Гей-Люссак¹ в 1808 г. и Дэви в 1809 г. доказали, что хлор вовсе не содержит кислорода, а является простым веществом. Когда Гей-Люссак пытался путем воздействия фосфора на хлор выделить из него соляную кислоту, то он не наблюдал появления ни окиси фосфора, ни соляной кислоты. Наоборот, хлор соединялся с фосфором и образовал новое вещество, названное хлорокисью фосфора. Таким же образом вел себя, как показал Дэви, чистый хлор по отношению к металлам. Когда, например, соединяли олово и хлор, то оба они исчезали, и на их место появлялась светлая жидкость (хлорное олово, SnCl_2). В пользу того, что хлор является элементом, говорило еще и то обстоятельство, что хлор не изменялся, когда его подвергали действию высокой температуры в сосудах, на которые он не действовал химическим образом. Трудность выяснить химическую природу хлора объясняется тем, что исследователи экспериментировали с хлором в присутствии воды. Но как только стали пользоваться свободными от воды реактивами, то опыты с хлором перестали давать соляную кислоту. Поэтому пришлось отбросить ошибочное название „окисленная соляная кислота“, которое Дэви заменил словом „хлор“ (от греческого $\chi\lambda\omega\rho\acute{o}\varsigma$ — зеленый)².

¹ Совместно с Тенаром (Thénard). *Mémoires de la Société d'Arcueil*, Paris 1809, стр. 295 и сл.

² Из истории хлора упомянем еще о том, что Фуркруа (Fourcroy) стал первый сжигать в хлоре разные вещества (*Annales de Chimie*, т. 4, 1788, стр. 249). Фуркруа нашел, что свеча горит в хлоре дольше, а в фосфоре ярче, чем в воздухе.

Опыты эти были распространены Веструмбом (Westrumb) почти на все металлы и на некоторые сульфиды металлов (*Annales de Chimie*, т. 4, стр. 240). Веструмб нашел, что измельченные металлы и сульфиды металлов немедленно загорались в хлоре. Он это показал, например, на сурьме, мышьяке, висмуте, олове, свинце и сульфидах сурьмы и мышьяка.



УСТАНОВЛЕНИЕ АТОМИСТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЕЕ

Лавуазье и Кавендиш, исследуя количественные отношения между элементами химических соединений, исходили уже молчаливо из предположения, что для строго определенных соединений эти отношения являются неизменной величиной. Количественная сторона химических соединений могла стать основой для дальнейшего развития химии лишь в том случае, если она имела значение закона природы. Поэтому первой задачей новой химической эпохи было доказательство того, что это так именно и есть. К этому затем присоединились попытки причинного объяснения химических процессов и наблюдающихся при них закономерностей.

ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА ВЕСОВЫХ ОТНОШЕНИЙ

Для доказательства закона постоянства весовых отношений много сделал француз Пруст¹. После долгой борьбы ему удалось на основании многочисленных анализов опровергнуть противоположную, защищавшуюся его земляком Бертолле² теорию, согласно которой элементы соединяются между собой в изменяющихся, зависящих от внешних обстоятельств отношениях. Пруст выступил против утверждения Бертолле, будто между двумя какими-нибудь соединениями — например между двумя соединениями серы и железа (FeS , FeS_2) или олова и кислорода (SnO , SnO_2) — возможны решительно все переходы. Эту ошибку Пруст объяснял тем, что Бертолле имел дело в своих опытах со смесями указанных соединений, а не с какими-то мнимыми промежуточными соединениями; он доказал, что, если два элемента образуют несколько соединений, то изменения в составе их происходят не постепенным образом, а скачками. Так, например, если закись олова, содержащая 11,9% кислорода, переходит благодаря дальнейшему прибавлению последнего

¹ Жозеф-Луи Пруст (Proust) родился в 1755 г. в Анжере, где и умер в 1826 г. Сперва он был аптекарем в Париже, затем профессором химии. Он был также членом Французской академии наук.

² См. предыдущую главу, стр. 154.

В окись олова, то переход этот совершается скачком, причем кислорода в новом соединении уже будет 21,3%. То же самое обнаружено было и у металлов, вступающих в разные соединения с серой. Пруст распространил свои исследования на соединения меди, железа, никеля, сурьмы, золота, серебра, ртути, а также на органические вещества. Во всех рассмотренных случаях наблюдалась указанная им закономерность. Для соединений кислот и оснований, образующих соли, постоянство весовых отношений было доказано еще до Пруста немецким химиком Рихтером (Richter). Но работа этого исследователя осталась на первых порах почти незамеченной, в особенности благодаря туманному способу выражения Рихтера. Первые попытки определить путем анализа весовые отношения составных частей какого-нибудь вещества опирались на старую философскую теорию, по которой все устроено согласно мере и весу. Самая ранняя научная работа, посвященная доказательству существования определенных весовых отношений, принадлежит Венцелю¹ (Wenzel). Она появилась в 1777 г. под названием „Lehre von der Verwandtschaft der Körper“ („Учение о сродстве тел“) и занималась вопросом о весовых отношениях, в которых соединяются между собой кислоты и основания при образовании солей. В своих работах Рихтер продолжал исследования Венцеля. У Венцеля встречаются уже также намеки на закон действия масс, так что в этом пункте он является предшественником Бертолле². Лишь впоследствии, когда Берцелиус определил атомные веса элементов, выяснилось основоположное значение исследований Венцеля и Рихтера.

Иеремия-Веньямин Рихтер родился в 1762 г. в Силезии³. Сперва он был горным чиновником в Бреславле, а затем служащим Королевской фарфоровой мануфактуры в Берлине. Почти все работы Рихтера имели целью приложение математики к химии. Это видно уже из названия его первой работы⁴. Рихтер в этом отношении заходил так далеко, что называл химию отделом прикладной математики. Его главное сочинение озаглавлено „Stöchiometrie oder Messkunst chymischer Elemente“ („Стехиометрия или искусство измерения химических элементов“)⁵. Оно появилось в 1792—1802 гг.

Рихтеру принадлежит та заслуга, что он ввел понятие эквивалента для кислот и оснований. Ход его рассуждений был таков. Он определял весовые количества известных ему оснований, которые нейтрализовали одно и то же количество (например 1000 весовых единиц) серной кислоты. Полученные значения он назвал рядом нейтрализации оснований. Мы приведем здесь значения для некоторых оснований, отнесенные по указаниям Рихтера к 1000 весовым

¹ Карл-Фридрих Венцель родился в 1740 г. в Дрездене. Подобно Рихтеру, он сперва работал в горном деле, а затем на фарфоровой фабрике (в Мейссене). Венцель умер в 1793 г. в Фрейберге.

² См. стр. 154 настоящего тома.

³ Он умер в 1807 г.

⁴ De usu matheseos in chymia, 1789..

⁵ Выражение стехиометрия (στοιχειον по-гречески значит элемент) образовано Рихтером.

единицам серной кислоты. Они крайне неточны и интересны лишь тем, что представляют первую таблицу эквивалентных весов:

Аммиак	672
Известь	793
Натрон (*),	859
Кали	1 605

и т. д.

Затем Рихтер составил подобный же ряд нейтрализаций известных ему кислот по отношению к определенному количеству некоторого основания. Если этим основанием была известь, 793 весовых единицы которой нейтрализовались, как видно из вышеприведенной таблицы, 1 000 весовыми единицами серной кислоты, то для некоторых других кислот получились следующие эквиваленты:

Углекислота	577
Азотная кислота	1 405
Щавелевая кислота	755
Серная кислота	1 000

и т. д.

Значение подобных таблиц Рихтер усматривал в том, что они позволяют вычислить состав всех нейтральных солей, возникающих из соединения какого-нибудь основания с какой-нибудь кислотой, если только в обеих таблицах даны эквиваленты оснований и кислот. Так, например, азотно кальциевая соль содержит основание и кислоту в отношении 793 : 1405, так как 1 000 весовых единиц серной кислоты, насыщающих 793 единицы извести, эквивалентны 1 405 единицам азотной кислоты.

ЗАКОН КРАТНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Упомянутые только что стехиометрические исследования продолжал и расширил Дальтон, главным произведением которого, „Новой системой химической науки“, мы теперь займемся подробнее.

Джон Дальтон родился в 1766 г.¹ в семье бедного английского ткача. Окончив школу, он стал заниматься преподаванием в своем родном городке. В дальнейшем ему удалось так пополнить свое образование, что в 27 лет он мог уже занять место преподавателя математики и физики в „New College“ в Манчестере. Впоследствии он оставил это место и зарабатывал себе на существование тем, что читал в более или менее крупных городах Англии лекции об успехах естествознания. Дальтон не искал внешних почестей. Даже тогда, когда слава его далеко перешагнула за границы Англии, он оставался скромным частным ученым, находившим величайшее удовлетворение в поисках истины. Дальтон был членом Королевского

¹ 5 сентября 1767 г. в Игльсфельде в Кумберленде.

общества. На старости лет он получил от короля небольшую пенсию. Дальтон умер в 1844 г. в Манчестере.

Пруст при своих анализах различных соединений одного и того же элемента с кислородом и серой выражал полученные им результаты в процентных отношениях. Если сравнить полученные таким образом числа, например, для упомянутых выше соединений олова с кислородом¹ (11,9 и 21,3%), то в них нельзя усмотреть никаких простых отношений. Дальтону, пытавшемуся распространить закон постоянства весовых отношений в особенности на газообразные соединения, пришла в голову счастливая мысль вычислить состав соединений для равных весовых частей какого-нибудь элемента, соединяющегося с кислородом. В таком случае, например, для вышеуказанных соединений кислорода с оловом получается на 100 весовых частей этого последнего 13,5 и 27 весовых частей кислорода; для окислов азота, которыми занимался главным образом Дальтон, на 14 весовых единиц азота получилось 8, 16, 24, 32, 40 весовых единиц кислорода. Сравнивая между собой эти числа, Дальтон открыл один из важнейших законов химии. Оказалось, именно, что весовые количества кислорода, соединяющиеся с определенным количеством олова или азота, находятся между собой в простых отношениях. Для случая азота, например, эти веса относятся между собой, как числа 1, 2, 3, 4, 5. Иначе говоря, весовые количества кислорода в высших окислах представляют собой кратные весовых количеств его в самой низкой степени окисления. Эти исследования, производившиеся им в 1802 г., Дальтон с равным успехом распространил на окислы углерода, а также на соединения углерода с водородом. Из соединений углерода он исследовал незадолго до того открытый этилен² (C_2H_4) и рудничный газ (CH_4). Он нашел, что весовые части водорода, соединяющиеся в них с одинаковым количеством углерода, относятся между собой, как 1:2.

Таким путем Дальтон, несмотря на грубость методов современной ему аналитической химии, открыл второй основной закон химии, подтвержденный всеми дальнейшими исследованиями. Этот „закон кратных отношений“ говорит, что вообще различные весовые количества одного и того же элемента (в последнем нашем примере водорода), вступающие в химические соединения с неизменным количеством другого элемента (в последнем примере углерода), находятся между собой в простых кратных отношениях.

УСТАНОВЛЕНИЕ АТОМИСТИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ

При открытии важных законов природы всегда возникало стремление составить себе известное представление о самой сущности вещей, которое настолько бы согласовалось с открытыми закономерностями, что последние должны были бы явиться не-

¹ См. стр. 159 настоящего тома.

² Этилен или маслообразующий газ, названный так потому, что вместе с хлором он соединяется в маслообразную жидкость $C_2H_4Cl_2$, был открыт в 1795 г. голландскими химиками.

обходимым следствием его. Тот же самый Дальтон, углубив закон кратных отношений, сделал и этот важный шаг на пути познания, заложив благодаря этому одну из основ всего современного естественнонаучного мировоззрения.

„Уже одно наблюдение различных агрегатных состояний,— говорит Дальтон,— должно привести к тому заключению, что все тела состоят из колоссального количества крайне ничтожных частиц или атомов, связанных между собой более или менее значительной в зависимости от обстоятельств силой притяжения“.

Возникает вопрос, равны ли между собой все последние частицы какого-нибудь вещества, например воды, т. е. обладают ли они одной и той же фигурой, одним и тем же весом и т. д. По мнению Дальтона нет никаких оснований допускать какие-нибудь различия у этих частиц. Если бы эти различия существовали, например, у воды, то они должны были бы обнаруживаться также в элементах, образующих воду. Если бы некоторые частицы воды были легче, чем другие, и если бы часть этой жидкости образовалась при каких-либо условиях из таких более легких частиц, то это должно было бы повлиять на удельный вес воды, что, однако, никогда не наблюдается. То же самое можно сказать о всяком другом химическом соединении. Отсюда следует тот вывод, что последние частицы всех однородных веществ вполне тождественны между собой по весу, виду и т. д. Но число этих частиц не может быть бесконечным. В каком-нибудь данном объеме оно должно быть ограничено, подобно тому как ограничено число небесных светил в какой-нибудь данной части мироздания.

Химический анализ и синтез заключаются, по Дальтону, в разъединении и в соединении атомов. Сотворение и разрушение какого-нибудь вещества невозможно. „Мы так же не в состоянии,— говорит Дальтон,— сотворить или разрушить атом водорода, как не в состоянии создать новую планету в солнечной системе или уничтожить существующие уже в ней планеты. Все изменения, которые мы можем производить, заключаются в разделении прежде связанных атомов и в соединении прежде разделенных атомов“.

Из всего вышеизложенного вытекает задача определить вес атомов. Конечно, Дальтон не был в состоянии определить абсолютное значение атомных весов, но зато он пытался, исходя из некоторых предположений, установить относительный вес этих мельчайших частиц. Если, например, между двумя веществами существует только одно химическое соединение, то простейшее предположение заключается в допущении, что оно образовалось благодаря попарному соединению одного атома первого вещества с одним атомом второго вещества. В этом случае отношение весов обоих соединяющихся веществ совпадает с относительным весом их атомов. По мнению Дальтона, это предположение имеет, например, место в случае воды и аммиака. Дело в том, что тогда было известно одно только соединение водорода с кислородом, а также одно такое соединение с водородом азота. При предположении, что эти соединения образовались путем попарного соединения

частиц соответственных элементов, атомный вес кислорода должен был разниться 7, а азота—5. Более точные анализы дали бы числа 8 и 4,6. Количества, соответствующие одной весовой части водорода, мы называем эквивалентными весами. Для получения атомных весов их надо прежде всего помножить на валентность соответствующих элементов. Так, например, атомный вес двувалентного кислорода есть 16 (2×8), а трехвалентного азота—14 ($3 \times 4,6$).

Как и закон постоянства весовых отношений, закон кратных отношений является следствием атомистической гипотезы. Действительно, если между двумя элементами существует несколько соединений, то можно допустить, что каждый атом первого элемента соединяется соответственно с одним, двумя, тремя атомами второго элемента. Так как все атомы одного элемента имеют одинаковый вес, то второе соединение должно обладать по отношению к неизменному количеству первого элемента двойным количеством, третье же соединение — тройным количеством второго элемента. Так, окись углерода—это двойное соединение, состоящее из одного атома углерода и одного атома кислорода. Тройная¹ же углекислота состоит из одного атома углерода и двух атомов кислорода, так как с одинаковым весовым количеством первого элемента соединено двойное количество второго.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ТЕОРИИ

Дальнейшим достижением Дальтона было то, что он ввел в химию знаки (символы). Так, например, он обозначал водород через \odot , кислород через \circ , серу через \oplus , серный ангидрид обозначался знаком $\overset{\ominus}{\underset{\ominus}{\oplus}}$, так как каждая частица его состоит из одного атома серы и трех атомов кислорода. Современный способ обозначения (водород—H, кислород—O, сера—S, серный ангидрид—SO₂) введен Берцелиусом.

Полученные Дальтоном атомные веса были еще очень неточны. Вот некоторые важнейшие из них:

Атомный вес	По Дальтону	Правильное значение
Кислорода	7	8 (16)
Натрия	21	23
Калия	35	39
Серебра	100	108

Для едкого натра и едкого кали, которые Дальтон считал еще элементами, получились из их соединений с кислотами числа

¹ Выражения двойной, тройной, четверной употребляются в современной химии соответственно для соединений из двух, трех или четырех элементов, безотносительно к числу атомов, входящих в такое соединение.

28 и 42. Дэви показал, что едкий кали и едкий натр суть окиси металлов¹. Едкий натр должно было рассматривать поэтому как соединение одного атома натрия (21) с одним атомом кислорода (7), между тем как едкий кали состоит из одного атома калия (35) и одного атома кислорода.

Почти в то самое время, когда Дальтон основал свою теорию, закон кратных отношений был установлен англичанином Волластоном (Wollaston) для солей щавелевой кислоты. Уже ранее было известно, что щавелевая кислота, представляющая собой двуосновную кислоту $\begin{pmatrix} \text{COOH} \\ | \\ \text{COOH} \end{pmatrix}$, соединяется в различных отношениях с некоторыми основаниями. Волластон² поставил себе задачу определить количества кислоты, соединяющиеся с неизменным количеством основания, чтобы путем изучения возможно большего числа подобных случаев установить, наблюдается ли в полученных таким образом числовых отношениях какая-нибудь правильная закономерность. Он пришел к положительному ответу на этот вопрос. Волластон доказал, например, что количества щавелевой кислоты, соединяющиеся с неизменным количеством едкого кали, относятся между собой, как 1 : 2 : 4³.

Работа, в которой Волластон сообщал о результатах своих опытов, представляет большой интерес еще и потому, что здесь мы уже в колыбели атомной теории встречаемся с вопросом о пространственном расположении атомов,—вопросом, ставшим впоследствии центральной проблемой химии. Действительно, Волластон при рассмотрении перекисленного щавелевокислого калия при котором на один эквивалент калия приходится четыре эквивалента кислоты, делает следующее замечание. Если бы на один атом

¹ Na₂O и K₂O по теперешнему обозначению.

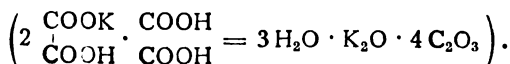
² Волластон, О перекисленных и недокисленных солях, „Philos. Transactions“, 1808. Работа эта, переведенная на немецкий язык, вышла в виде 3-го томика оствальдовской серии классиков точного знания.

³ Для понимания образования этих солей прибавим, что щавелевая кислота представляет собой сильнейшую органическую кислоту. Она образует, например, с калием нейтральную соль, в которой K₂O соединяется с C₂O₃ (т. е. щавелевой кислотой за вычетом конституционной воды). Ее формула такова: $\begin{matrix} \text{COOK} \\ | \\ \text{COOK} \end{matrix}$.

Состав кислой соли выражается формулой: $\begin{matrix} \text{COOK} \\ | \\ \text{COOH} \end{matrix}$

На 1 эквивалент кали (K₂O) приходится в этом случае 2 эквивалента C₂O₃ (2KHC₂O₄ = H₂O K₂O 2C₂O₃).

Аналогичным образом формула для сверхкислой соли $\begin{matrix} \text{COOK} & \text{COOH} \\ | & | \\ \text{COOH} & \text{COOH} \end{matrix}$ выражает, что на K₂O приходится 4 эквивалента C₂O₃,



Три эти соли характеризуются также своими кристаллографическими особенностями.

одного рода (слово „атом“ употреблялось тогда также в применении к мельчайшим частям соединений) приходилось четыре атома другого рода, то устойчивое равновесие могло бы наступить тогда, когда первый атом занимал бы центр, а четыре других—вершины правильного тетраэдра. Таким образом Волластон создал в точности ту самую модель, согласно которой основатель стереохимии, вант-Гофф (van't Hoff) представлял себе расположение в рудничном газе четырех атомов водорода вокруг четырехвалентного атома углерода.

Однако Волластон был достаточно благоразумен, чтобы видеть в придуманном им геометрическом расположении атомов какого-нибудь соединения чисто гипотетическое построение, подтверждение или опровержение которого приходится ожидать лишь от позднейших наблюдений. Может быть, замечает он, слишком смело надеяться, что удастся когда-нибудь выяснить геометрическое расположение атомов.

Ближайшей задачей экспериментальной химии, после признания атомистической гипотезы, стало возможно точное определение эквивалентов, которое должно было не только иметь величайшее значение для химического анализа, но и явиться основой для всех дальнейших теорий. Ведь дело шло об ответе на вопрос, представляют ли полученные числа действительно относительные веса атомов, и если это так, существуют ли простые отношения между атомными весами.

Умозрения, не опирающиеся на достаточно прочную основу, почти всегда оказывались поспешными. Это подтверждает и дальнейшее развитие атомной теории. Если сравнить опубликованную Дальтоном в 1803 г. таблицу с таблицей, помещенной впоследствии в его „Новой системе“, то в глаза бросается то обстоятельство, что данные в последней атомные веса представляют сплошь целые числа, между тем как в таблице 1803 г.—если не обращать внимания на принятый за единицу атомный вес водорода—целых чисел вообще не имеется.

Вот, например, данные для некоторых элементов согласно обеим таблицам:

	1803	1808
для водорода	1	1
„ азота	4,2	5
„ углерода	4,3	5
„ кислорода	5,5	7
„ фосфора	7,2	9

ГИПОТЕЗА ПРАУТА (PROUT) И ЕЕ ОПРОВЕРЖЕНИЕ

Произведенному Дальтоном округлению атомных весов придал вполне реальное значение английский ученый Праут, исследователь, не давший особенно ценных работ в области экспериментальной химии. Праут допускал, что истинные атомные веса представляют собой целые числа, а отклонения от них, обнаруживаемые

анализом, объясняются ошибками наблюдения. Исходя из этой ложной гипотезы, имевшей своим источником значительную неточность результатов тогдашнего анализа, Праут свел все элементы к водороду как первичной материи. По мнению Праута, атомы всех элементов образовались путем соединения различного количества водородных атомов, откуда с неизбежностью следует, что атомные веса представляют собой кратные числа веса водородного атома. Хотя эта гипотеза Праута, в которой на первых порах увидели истинный основной закон химии, не согласовалась с результатами позднейших исследований, но она имела ту хорошую сторону, что постоянно побуждала ко все более точному определению атомных весов. Особенно много занимался этой задачей Берцелиус, исходивший из той точки зрения, что вопрос о пригодности или непригодности какой-либо гипотезы решают только факты.

Йоганн-Яков Берцелиус¹ родился 29 августа 1779 г. в семье одного шведского учителя. Ему приходилось испытывать немало лишений, когда он изучал в Упсале медицину и химию. Его первые работы относились к анализу одного целебного источника и к действию как раз тогда открытого гальванического электричества на химические соединения. С 1807 г. Берцелиус занимал кафедру химии и фармации в медицинской школе в Стокгольме. Через несколько лет он был назначен президентом Стокгольмской академии наук. На развитие химии в Германии Берцелиус² оказал такое огромное влияние, как ни один другой иностранный ученый. Митчерлих (Mitscherlich), Генрих и Густав Розе (Rose), Магнус (Magnus), Велер (Wöhler) и многие другие немецкие исследователи работали в его лаборатории в такую эпоху, когда в Германии почти еще не существовало центров научного исследования. Впрочем, даже в собственной лаборатории Берцелиуса необходимые для работы инструменты и вспомогательные средства были так несовершенны и скудны, что с трудом представляешь себе, как Берцелиус мог добиться своих столь точных результатов. С немецкими учеными Берцелиус находился всегда в самом тесном личном и научном контакте. Об этом свидетельствуют его неоднократные

¹ С биографией Берцелиуса можно лучше всего познакомиться по его автобиографическим заметкам. Они были изданы по поручению Шведской академии наук Г. Г. Зедербаумом (Söderbaum). По-немецки они изданы Г. В. А. Кальбаумом (Kahlbaum) (Monographien aus der Geschichte der Chemie, т. 7). Правда, о своих научных работах Берцелиус упоминает в автобиографии лишь случайно. Несколько подробнее он говорит об исследованиях, касающихся закона определенных отношений, причем особенно подчеркивает заслуги Рихтера (см. стр. 160 и след. настоящего тома).

² Некоторые данные об истории новейшей химии можно найти также в переписке Ф. фон-Велера и Берцелиуса, изданной в двух томах О. Валлахом (Wallach) (Leipzig, Verlag von W. Engelmann, 1911). Переписка эта охватывает столь важный для развития химии период от 1824 до 1848 г. Правда, в письмах имеется много фактов личного характера, но в них содержатся также многочисленные указания на предысторию некоторых важных открытий, а также на эволюцию взглядов и методы работы обоих великих исследователей. Подробнее об этом см. в 4-м томе предлагаемого сочинения, когда речь будет идти о Велере.

посещения Германии и особенно его переписка с Велером¹. Берцелиус умер 7 августа 1848 г.

Заслуги его во всех областях химии и в минералогии совершенно исключительны. Но о них речь будет идти в другом месте. Здесь нас интересует только его участие в развитии атомной теории, в экспериментальном обосновании которой Берцелиус видел свою важнейшую задачу. „Благодаря новым опытам, — говорит он², — я вскоре убедился, что числа Дальтона лишены той точности, которая необходима для практического применения его теории. Я понял, что прежде всего надо определить с максимальной точностью атомные веса возможно большего количества элементов, и в первую голову обыкновенных. Без этого за зарей химической теории не может последовать ее долгожданный день. Это было тогда важнейшей задачей химического исследования, и я целиком отдавался ей. После десятилетней работы я мог, наконец, выпустить в 1818 г. таблицу, содержащую определенные согласно моим опытам атомные веса и данные о химическом составе около 2000 соединений“.

Чтобы дать читателю представление о точности работ Берцелиуса, мы приведем некоторые числа из этой таблицы³:

Углерод	12,12	(11,97)
Кислород	16,00	(15,96)
Сера	32,3	(31,98)
Азот	14,18	(14,00)
Хлор	35,47	(35,4)
Свинец	207,4	(207,0)
Медь	63,4	(63 3)

Мы покажем еще вкратце, как Берцелиус устанавливал весовые отношения и закон кратных отношений на примере трех степеней окисления свинца. 10 г свинца были растворены в чистой азотной кислоте⁴. Раствор был перелит во взвешенную предварительно колбу и подвергнут перегонке, а получившийся при этом осадок был нагрет. Получилось 10,78 г окиси свинца⁵. Таким образом 100 частей свинца должны соединиться с 7,8 части кислорода, чтобы превратиться в свинцовый глет (окись свинца). Что касается сурика, то путем тщательного исследования было установлено, что он состоит из 100 частей свинца и 11,07 части кислорода. Обраба-

¹ Эта столь ценная для правильного понимания развития химии „Переписка“ была издана по поручению Королевского общества наук в Геттингене.

² Berzelius, Lehrbuch der Chemie, т. 3. 1161, 5-е изд.

³ Принятые в настоящее время значения помещены в скобки.

⁴ Образуется азотно-свинцовая соль, состав которой выражается формулой:



⁵ Азотно-свинцовая соль распадается при нагревании на окись свинца, кислород и азотноватый ангидрид:



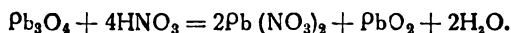
тывая сурик азотной кислотой, Берцелиус получил третье соединение свинца, именно перекись свинца¹. Взяв 5 г перекиси свинца, тщательно освобожденной путем промывания от всяких примесей азотно-свинцовой соли и высушенной, он нагрел ее в предварительно взвешенном платиновом тигле. При этом она потеряла 0,325 г кислорода. Оставшиеся 4,475 г желтой окиси свинца дали при растворении в уксусе сульфат свинца и кремнезем, весившие после нагревания 0,13 г. Остальные 4,545 г желтой окиси свинца содержали 0,33 г кислорода или с точностью до 0,005 г то самое количество его, которое потеряла от нагревания перекись свинца. Таким образом для превращения 100 частей свинца в перекись свинца необходимо вдвое больше кислорода, чем его имеется в желтой окиси свинца².

На мысль об исследовании весовых отношений и выражающейся в них закономерности Берцелиус был наведен еще до ознакомления с теорией Дальтона изучением полузабытых писаний немецкого химика Рихтера. Около 1790 г. Рихтер основал учение о химических пропорциях, исходя из своих, уже упомянутых ранее³ исследований весовых отношений, согласно которым соединяются между собой кислоты и основания. Берцелиус понял все значение этой работы Рихтера и пытался определить путем возможно тщательного анализа некоторых солей состав других солей, которые можно получить из первых. Продолжая исследования Рихтера, он показал, что для всех солей одной и той же кислоты отношение между количествами кислорода, содержащимися в основании и кислоте, постоянно⁴.

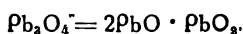
Для атомистической гипотезы важно было также данное Берцелиусом доказательство, что железный купорос FeSO_4 содержит элементы серу и железо в точно таком же отношении, в котором они входят в сернистое железо FeS .

Важнейшим результатом исследований Берцелиуса, сопровождавшихся многочисленными усовершенствованиями существующих методов, а также изобретением ряда новых аналитических приемов,

¹ Формула перекиси свинца PbO_2 . Она получается путем обработки сурика азотной кислотой:



Сурик можно рассматривать как соединение окиси свинца и перекиси свинца:



² Поэтому формулы для желтой окиси свинца и для коричневой перекиси свинца будут соответственно PbO и PbO_2 . У сурика несколько колеблющийся состав. Формула Pb_3O_4 , приписываемая сурику, дала бы на 100 частей свинца только 10,3 части кислорода.

³ См. стр. 160 и сл. настоящего тома.

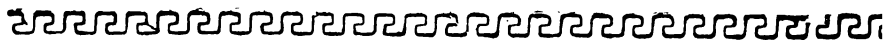
⁴ Так, в солях азотной кислоты эти количества относятся между собой, как 1:5. Это особенно ясно видно, если пользоваться старым написанием их формул:



было полное подтверждение закона кратных отношений и доказательство того, что гипотеза Праута не совместима с фактами.

Благодаря рассмотренным нами в последних главах исследованиям Лавуазье, Дальтона и Берцелиуса, а также усилиям многочисленных других ученых химия в течение нескольких десятилетий приобрела совершенно новый облик и получила надежную основу для своего дальнейшего развития, догнав в этом отношении физику. Взаимоотношения между обеими этими науками непрерывно росли, особенно с тех пор, как узнали, что электричество представляет собой химически действенную силу. Поэтому прежде чем проследить дальнейший ход химико-физического исследования, необходимо рассмотреть великое, совпадающее во времени с основанием антифлогистонной системы и с установлением атомной теории открытие, которым Гальвани и Вольта (Volta) обогатили учение об электричестве.





ХИ

ОТКРЫТИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Кроме известного уже с древних времен возбуждения электричества при помощи трения, в XVIII в. познакомились с получением электричества путем нагревания, а также с появлением его в результате некоторых атмосферических процессов¹. Была установлена также электрическая природа действия, производимого электрическим скачком. К этим четырем видам электричества присоединился теперь пятый вид его, контактное или гальваническое электричество, с которым познакомились к концу XVIII в. Что же касается разработки учения о гальванизме, то оно явилось важнейшим научным достижением XIX в.

ПЕРВОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Около 1750 г. немецкий ученый Зульцер (Sulzer)² сделал впервые наблюдение, что простое соприкосновение двух металлов вызывает своеобразное действие, оказавшееся, как впоследствии было установлено, электрическим. Зульцер взял два различных металла, соприкасавшихся между собой своими краями, и поместил между ними кончик языка. При этом он испытал колющее, напоминавшее вкус железного купороса ощущение, которого не могли вызвать эти металлы, взятые каждый в отдельности³.

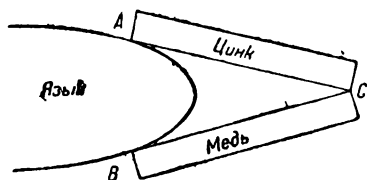


Рис. 32. Первое доказательство существования контактного электричества.

Опыт Зульцера легко повторить следующим образом. Очистив хорошенько песком цинковую пластинку *A* и медную пластинку *B*, их приводят в соприкосновение краями *C* и держат так, что

¹ См. гл. 2 настоящего тома.

² Иоганн-Георг Зульцер (1720—1779), профессор математики в Иохимстальской гимназии в Берлине.

³ Sulzer, Theorie der angenehmen und unangenehmen Geschmacksempfindungen, Berlin 1762 (впервые появилась в Мém. de Berlin 1751—1752 гг.).

можно поместить между ними язык. Если сделать это, то испытываешь упомянутое Зальцером своеобразное ощущение, которого не дают ни цинк, ни медь, взятые в отдельности. Зальцеру казалось невероятным, чтобы при соприкосновении двух металлов происходил процесс растворения. По его мнению следует скорее допустить, что это прикосновение вызывает колебательное движение частиц, возбуждающее вкусовые нервы.

Впоследствии опыт этот видоизменили следующим образом. Взяв оловянный или цинковый кубок, его поставили на серебряное подножие и наполнили водой. Если теперь опускали кончик языка в воду, то она оказывалась совершенно безвкусной, пока не прикасались к серебряному подножию. Но лишь только начинали сжимать его влажными руками, как язык начинал испытывать определенное вкусовое ощущение.

Так как наблюдение Зальцера осталось совершенно изолированным, то его постигла судьба большинства подобных случайных наблюдений. На него не обратили внимания, и под конец оно было забыто, пока в ходе дальнейшего развития науки не пришлось вернуться к этому открытию. Систематическое исследование контактного электричества началось со случайно сделанного наблюдения, что свежепрепарированная ножка лягушки начинает сокращаться всякий раз, когда поблизости от нее происходит электрический разряд. Гальвани открыл это явление около 1780 г. Уже давно было известно, что при непосредственном воздействии электрических разрядов на мертвых животных мускулы их начинают сокращаться. Было также замечено, что электрический скат приводит в движение и мертвых рыб. Но изумление Гальвани вызвало то обстоятельство, что эти сокращения происходили при отсутствии всякого соединения между электрической машиной и препарированной лягушкой.

Отпрепарировав лягушку, как это изображено на рис. 33, фиг. 2, Гальвани положил ее на стол, на котором стояла электрическая машина. Когда затем один из помощников Гальвани случайно коснулся совершенно легко кончиком ножа нервов ножки *DD* лягушки, то все мышцы на сочленениях сократились с такой силой, точно они были схвачены судорогой. Это произошло в тот самый момент, когда из кондуктора машины была извлечена искра.

В указанном явлении мы не имеем еще дела с контактным электричеством, а с так называемым возвратным ударом. Последний заключается в том, что происходящее в ножке вследствие заряжения машины распределение электричества испытывает изменение в момент разряда. Распределение электричества, а также разряд его, происходит в случае значительного расстояния ножки от кондуктора машины с достаточной силой лишь тогда, когда ножка соединена посредством проводника с землей. В опыте Гальвани это осуществлялось при помощи первоначально случайного, а впоследствии преднамеренно устроенного соприкосновения ножки с проводником (рис. 33).

Удивление, вызванное у Гальвани этим наблюдением, стало источником почти бесконечного ряда важнейших открытий. „Я, — говорит он, — воспыал невероятным рвением выяснить то, что скрывается за этим явлением“¹. Но прежде чем последовать за Гальвани в этом направлении, мы остановимся вкратце на биографии этого человека, удача, трудолюбие и гений которого открыли для науки новую огромную область исследования.

Рис. 33. Опыты Гальвани над лягушечьими ножками.

Алоизио Гальвани родился 9 сентября 1737 г. в Болонье. Окончив медицинский факультет в университете своего родного города, он женился на дочери тамошнего профессора, которой легенда приписывает выдающуюся, если не главную роль, в открытии гальванизма².

Первые научные работы Гальвани относились к анатомии, кафедру которой он занимал в Болонье с 1775 г. Свои опыты над действием электричества на лягушечьи ножки он

¹ Ostwalds Klassiker, № 52, стр. 4.

² В одном сонете, сообщенном Алибером (Alibert), биографом Гальвани (Alibert, Eloge de Galvani, Paris 1806), вторая строфа в немецком переводе Эмиля Дюбуа Реймона гласит так:

War sie es nicht, die neue Lebenstrieb in hautenblösster Frösche Gliedern fand, Wenn hier der Nerven wunderbar Getriebe, Dort funkensprüh'nden Leiter traf die Hand? (Не она ли нашла новые стимулы жизни в обнаженных членах лягушки, когда рука касалась с одной стороны чудесного механизма негров, а с другой — брызжащего искрами проводника?)

начал в 1780 г. Первоначально Гальвани вел только дневник этих опытов. Лишь 10 лет спустя он объединил результаты своих исследований в трактат о действии электричества на мышечное движение¹.

После того как Гальвани показал действие разряда на находящуюся неподалеку от электрической машины ножку лягушки, он постарался выяснить, не может ли вызвать то же самое загадочное для него явление и атмосферное электричество. Относящиеся к этому опыты описаны во второй части вышеуказанной работы от 1791 г. Препарированные лягушки, а также ножки разных теплокровных животных привешивались во время грозы за нервы, между тем как мышцы их были соединены с землей при помощи железной проволоки. Ожидания Гальвани оправдались. В то самое мгновение, в какое наблюдалось сверкание молнии, мышцы животных начинали энергично сокращаться.

„После того как мы познакомились с силами грозового электричества, мы загорелись желанием выяснить также силу спокойного повседневного электричества атмосферы“. Этими словами Гальвани начинает третью часть своей книги, в которой мы знакомимся с явлениями совершенно нового, названного по его имени способа получения электричества.

Гальвани, заметив, что препарированные лягушки, подвешенные на железной решетке на медных крючках, начинают иногда вздрагивать не только в грозу, но и в безоблачную погоду, пришел к убеждению, что причина этих сокращений кроется в изменении состояния атмосферного электричества. Поэтому он решил наблюдать соответственно отпрепарированных животных в различные часы дня. Но движение в мышцах наблюдалось лишь крайне редко. Устав от ожидания, он под конец прижал крючки, укрепленные в спинном мозгу животных, к железной решетке. Это вызвало неоднократно сокращения, которые Гальвани вначале склонен был приписать действию атмосферного электричества.

Однако, когда он отнес животное в закрытое помещение, положил его на железную пластинку и прижал к ней находившийся в спинном мозгу медный крючок, то он заметил те же мышечные сокращения.

Теперь только Гальвани понял, что перед ним совершенно новое, неожиданное явление, не имеющее никакого отношения к атмосферному электричеству. После этого Гальвани изменил обстановку опыта, положив лягушку на не проводящую электричество стеклянную пластинку и соединив при помощи дуги медный крючок с ножками животного. Если дуга состояла из другого металла, то сокращения мускулов наблюдались, в случае же применения непроводящего вещества они не имели места. С придуманными

¹ Сочинение Гальвани озаглавлено *De viribus electricitates in mortu musculari commentatio*, 1791. Оно появилось в немецком переводе в виде 52-го томика ост-вальдовской серии классиков точного знания под названием: *Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität bei Muskelbewegung* (Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1894).

АЛОИЗО ГАЛЬВАНИ

1737—1798

Гальвани изменениями этого фундаментального опыта нас знакомит третий рисунок его трактата (рис. 34).

Особенный интерес представляет электрический лягушачий маятник, изображенный на фиг. 11 (рис. 34) и описанный Гальвани в следующих выражениях: „Лягушку держат за одну ножку в воздухе, укрепленный в спинном мозгу крючок прикасается к серебряной пластинке, другая же ножка может свободно скользить по

Рис. 34. Сокращения лягушечьих ножек при соприкосновении с различными металлами. (Из книги Гальвани „О силе электричества“.)

Фиг. 9. *A*—фольговый листок над позвоночным столбом препарированной лягушки. *BB*—ножки животного. *C*—другой металлический листок из латуни. *D*—медная, покрытая серебром, дуга. *F*—стеклянная пластинка, на которой лежит животное. Фиг. 10. *AA*—две дуги, вложенные в цилиндр из стекла или смолы, *C*—крючок, соединенный с спинным мозгом. Фиг. 11. Препарированная лягушка, подвешенная на одной ноге. Другая же нога вместе с крючком, соединенным с позвоночником, касается поверхности серебряной коробочки. Фиг. 12. *FF*—две металлические дуги, одна из меди, другая из серебра. Фиг. 13. *GG*—металлические кондукторы, из которых один соединен с верхней, а другой с нижней обкладкой квадрата. *H*—нервы, вытянутые так через край квадрата, что они одновременно с позвоночником касаются нижней обкладки. Фиг. 14. *K*—стеклянная трубка, заполняемая различными жидкостями. Фиг. 15. Отделенные друг от друга ножки. Фиг. 16. Отделенные друг от друга ножки вместе с рассеянным на две части позвоночником.

пластинке. Лишь только ножка эта коснется пластинки, как мышцы испытывают сокращение, благодаря чему ножка поднимается в воздух. Но вскоре мышцы сами собой устают, ножка опускается и приходит снова в соприкосновение с пластинкой; вследствие этого она снова поднимается в воздух и продолжает в дальнейшем то подниматься, то опускаться, уподобляясь электрическому маятнику“. Пластинка служит при этом как бы дугой, позволяющей круговорот электричества, когда ножка опускается на пластинку, и не позволяющей его, когда ножка удаляется от пластинки.

Для этого замечательного явления возможны были только два объяснения. Причина его крылась либо в сущности животного организма, либо же в электрическом процессе, в основе которого лежало соприкосновение металлов. В этом последнем случае лягушачьи ножки играли только роль чувствительного электроскопа. Гальвани склонялся к первой точке зрения, рассматривая описанные факты как формы проявления животного электричества, протекающего от мозга через нервы к мышце. Мышцу Гальвани сравнивал с лейденской банкой и предполагал, что поверхность и внутренность мышцы заряжены противоположным образом. Поэтому, если нерв, кондуктор этой банки, соединяли с поверхностью мышцы, соответствовавшей внешней обкладке банки, то происходил разряд, результатом которого было сокращение мышцы.

Разумеется, опыты Гальвани и учение его, на первых порах принятое всеми, вызвали величайшую сенсацию. „Волнение, вызванное появлением книги Гальвани среди физиков, физиологов и врачей, — говорит выдающийся историограф гальванизма¹, — можно сравнить лишь с бурей, появившейся в то же самое время на политическом горизонте Европы. Повсюду, где только имелись лягушки и где только можно было раздобыть два куска разнородного металла, всякий хотел собственными глазами убедиться в чудесном воскрешении отрезанных членов“.

ВОПРОС О ПРИЧИНЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Выход „Трактата о силах электричества“ представляет венец научной деятельности Гальвани. Отныне руководящая роль в новооткрытой области переходит к Александру Вольта (Volta), между тем как Гальвани ограничивался лишь тем, что защищал свою теорию от нападков Вольты. Последние годы своей жизни Гальвани провел в состоянии полной протрации, вызванной смертью супруги и потерей должности, которой он лишился, отказавшись при основании Цизальпинской республики дать противоречившую его убеждениям присягу. Он умер 4 декабря 1798 г., не дожив до изобретения вольтового столба, давшего окончательную победу новой теории.

Александр Вольта родился 18 февраля 1745 г. в Комо. Тридцати лет от роду он стал преподавателем физики в гимназии родного города. Через пять лет он получил профессию физики в Падуанском университете, в котором работал по 1819 г. Последние годы своей жизни Вольта провел в полном уединении. Он умер в Комо 5 марта 1827 г.

Когда появился знаменитый „Тракта“ Гальвани, Вольта, занимавшийся в первый период своей научной деятельности преимущественно исследованием газов, сделал уже несколько выдающихся работ в области учения об электричестве. Соединив конденсатор

¹ E. Du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektrizität, Berlin 1848, т. I, стр. 50.

с электрометром с соломинками, он получил прибор для обнаружения ничтожных количеств электричества¹, прибор, оказавшийся впоследствии очень полезным при исследовании явлений контактного электричества. За это изобретение Королевское общество избрало Вольту своим членом и наградило его медалью.

О своем электрометре Вольт сообщает следующее. Весьма целесообразно видоизменить прежние электрометры, заменив в них тонкие металлические проволоки двумя очень тонкими и сухими соломинками дюйма в два длину, которые следует привесить и сделать очень подвижными при помощи маленьких колец. В нейтральном состоянии соломинки эти должны соприкасаться между собой по всей своей длине.

Вначале Вольт был убежден в правильности взглядов Гальвани. Мышечные сокращения, по его мнению, происходят от диспропорции между электричеством мышцы и электричеством нерва. Цель металлического соединения заключается только в том, чтобы восстановить электрическое равновесие. Однако через несколько лет Вольт убедился, что не может быть и речи о сравнении мышцы с лейденской банкой. Дело в том, что лягушечья ножка начинала сокращаться даже тогда, когда электрический разряд проходил только через нервы, а мышцы находились совершенно вне цепи проводников. Поступая подобно Зульцеру², Вольт сумел вызвать при помощи двух различных металлов, приложенных соответственно ко рту и к глазу, не только вкусовое ощущение, но и световое.

Этот фундаментальный опыт, показавший, что электрический разряд способен вызвать не только мышечные сокращения, но и раздражение чувствительных нервов, Вольт производил следующим образом. На кончик языка он клал большой кусок фольгового листка, а к тыльной части языка прикладывал серебряную монету. Соединив оба металла при помощи медной проволоки, Вольт почувствовал очень кислое ощущение. При отсутствии медной проволоки, если соединяли между собой непосредственно только серебро и фольгу, результат был тот же самый. Для этого Вольт взял вместо монеты серебряную ложку, приложил ее к тыльной части языка и касался ее фольговым листиком, лежавшим на кончике языка.

Чтобы доказать, что световое ощущение можно вызвать гальваническим электричеством, Вольт составлял дугу из различных металлов и приводил ее в соприкосновение со лбом и небом. В момент прикосновения глаз испытывал ощущение яркого света³.

Таким образом у Вольты все больше укреплялось убеждение, что металлы в рассматриваемых опытах являются не просто

¹ Volta, Del modo di rendere Sensibilissima la più debole elettricità sia artificiale sia naturale, 1784. Собрание сочинений Вольты вышло под заглавием: *Collezioni dell'Opere del Cavaliere Conte Alessandro Volta* Patrizio Comasco Firenze 1816; оно издано в 3 томах и 5 частях В. Антинори (Antinori).

² См. стр. 171 настоящего тома.

³ Alessandro Volta, Briefe über tierische Elektrizität, 1792 — 1795. Переведенные на немецкий язык А. фон-Эттингеном, они вышли в виде 114-го томика освальдовской серии классиков точного знания (стр. 101).

проводниками, но истинными возбудителями электричества. Поэтому около 1792 г. Вольта под влиянием только что упомянутых физиологических опытов изменил свои первоначальные взгляды¹. Ясно, — утверждал он, — что при этих опытах нервы только приводятся в состояние возбуждения и что причина электрического тока, вызывающего это возбуждение, заключается в самих металлах. „Именно они, — говорит он, — являются в настоящем смысле слова возбудителями электричества, между тем как нервы играют чисто пассивную роль“. В это самое время Вольта сделал важное открытие, что при гальванических опытах можно брать уголь вместо металлов. „Я нашел, — говорит он², — что древесный уголь, уже ранее считавшийся хорошим проводником, мало или вовсе не уступает металлам и, подобно последним, является возбудителем электричества“.

ВОЛЬТОВ РЯД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

В одном сочинении от 1794 г. Вольта открыто выступает противником учения о животном электричестве. Для обозначения относящихся сюда явлений он отныне начинает употреблять выражение „металлическое электричество“. Все описанные действия происходят от металлов, от их прикосновения к какому-нибудь влажному телу, благодаря чему возникает ток электричества. Если ток этот проходит через нервы, в которых теплится еще остаток жизни, то повинующиеся нервам мышцы начинают сокращаться. Эти движения и описанные выше вкусовые и световые ощущения оказывались весьма различными, в зависимости от природы тех металлов, которыми Вольта пользовался в своих исследованиях. Вызывавшиеся металлами действия были тем энергичнее, чем дальше эти металлы отстояли друг от друга в нижеследующем, установленном Вольтой в 1799 г. ряду³: цинк, олово, свинец, железо, медь + платина, золото, серебро, графит, древесный уголь.

К этому первому ряду Вольты вскоре было прибавлено много новых членов, ибо в него были включены также и минералы, как, например, серный колчедан, свинцовый блеск, медный колчедан.

Затем Вольта постарался исключить из своих опытов действие нервов и мышц. Для этого он приводил металлы в соприкосновение со всевозможными влажными веществами, как, например, бумагой, сукном и т. д. Чтобы обнаружить бесспорным образом происходящий здесь электрический разряд — разряд, выражавшийся в прежних опытах в сокращении мышц, — он прибег к конденсатору, с помощью которого можно было доказать наличие ничтожнейших количеств электричества.

На мысль об устройстве конденсатора, который мог бы служить прибором для накопления электричества, Вольту навели продолжи-

¹ Ostwalds Klassiker, № 114, стр. 99.

² Ostwalds Klassiker, № 114, стр. 104.

³ Ostwalds Klassiker, № 114, стр. 107.

АЛЕКСАНДР ВОЛЬТА

1745—1827]

гельные занятия электрофором. Уже в первом своем сочинении от 1769 г. он занимался вопросом об электрическом притяжении. В одной работе от 1771 г. он описывает под названием *electrophoro perpetuo* прибор, известный в том же самом виде еще и ныне под названием электрофора. Он состоит из металлической чашки, диска из непроводящего вещества (смола) и металлической пластинки, укрепленной на изолирующих шелковых шнурках (рис. 35). Чтобы получить непроводящий диск, Вольта растопил вместе три части терпентина, две части смолы и одну часть воска. Подобно электрическим машинам, электрофоры достигали в XVIII в. колоссальных размеров (до 7 футов в диаметре). Способ действия электрофора заключается в том, что сообщенное изолирующему диску электричество индуцирует крышку, оттолкнутое электричество которой удаляется при помощи короткого прикосновения к ней пальцем. Таким образом электрофор совпадает по существу, как показал Вильке¹, с франклиновой доской.

Благодаря открытию электрофора молодой тогда Вольта обратил на себя внимание физиков еще задолго до открытия гальванического электричества и своих собственных опытов в этой области. Электрофор, после того как наэлектризовали диск из непроводящего вещества, становился неисчерпаемым источником электричества. Действительно, можно было, удалив у крышки ее электричество, снова зарядить ее при помощи прикосновения к диску из смолы, причем количество электричества последнего от этого несколько не уменьшалось.

Имея в своих руках электрофор, Вольта построил в 1782 г. прибор для накопления электричества, названный им конденсатором. Конденсатор есть по существу электрофор с крайне тонким слоем смолы вместо употреблявшейся до тех пор толстой смоляной пластины. Если на этот тонкий слой смолы клали крышку и приводили последнюю в соприкосновение с очень слабым источником электричества (например разряженной лейденской банкой), в котором нельзя было другими средствами обнаружить присутствия электричества, то крышка, после того как ее поднимали, обнаруживала заметные следы электричества. На этом основании Вольта назвал новый прибор конденсатором. При пользовании конденсатором важно было перед началом каждого опыта вполне разряжать слой смолы. При решении этой задачи Вольта открыл один важный факт взаимоотношения между электричеством и светом. Именно он нашел, что если выставить слой смолы на солнце, то разряжение происходит быстро и полностью.

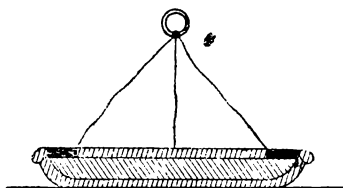


Рис. 35. Электрофор Вольты.

¹ Abhandlungen der Schwed. Akademie der Wissenschaften, 29, 1777.

Работая над своим конденсатором, Вольта под конец придал ему ту форму, в которой им пользуются еще и в настоящее время. Две одинаковые металлические пластинки, из которых одна непосредственно соединялась с электроскопом, были покрыты тонким, по возможности равномерным слоем лака (рис. 36). Действие этого прибора объясняется законами электрической индукции, открытыми Эпинусом и Вильке¹. Если верхней пластинке сообщить, например, положительное электричество и затем положить ее на нижнюю пластинку, от которой она отделена двойным слоем лака, то на

обращенной к верхней пластинке стороне нижней пластинки получится отрицательное электричество, а на стороне противоположной — положительное электричество, которое отводят. Если теперь поднять верхнюю пластинку (называемую также коллектором), то отрицательное электричество распространится по всему нижнему так называемому конденсаторному диску. Поступая так несколько раз, можно накопить отрицательное электричество на нижней пластинке и значительно усилить действие соединенного с ней электроскопа.

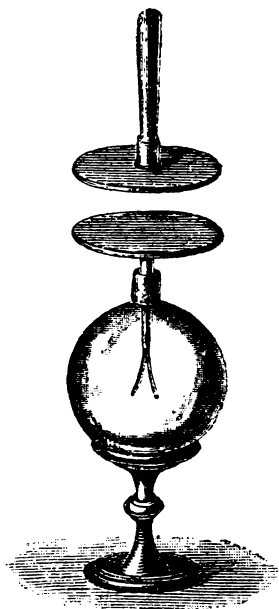


Рис. 36. Конденсатор Вольты.

ОСНОВНОЙ ОПЫТ ВОЛЬТЫ

Только эти предварительные опыты дали Вольте возможность произвести свой знаменитый основной опыт с контактным электричеством. Опыт этот заключался в том, что получали противоположные электричества путем простого соприкосновения двух металлов, без посредства какого бы то ни было промежуточного влажного вещества — безразлично животного или иного происхождения. Опыт этот, для производства которого Вольта пользовался только пластинками из различных металлов с изолирующими рукоятками, конденсатором и электрометром с листочками из тончайшего сусального золота, Вольта описывает в следующих выражениях²: „Если приложить находившиеся раньше в соприкосновении между собой пластинки к головке очень чувствительного электрометра, то золотые листочки его несколько разойдутся, свидетельствуя этим о наличии некоторого количества электричества, положительного или отрицательного, в зависимости от природы испытываемого металла, а также природы того металла, с которым первый находился раньше в соприкосновении“. Когда

¹ „Phil. Transact.“, 1782, стр. 242.

третьем письме Вольты к Грину (Green) от 1797 г.

Вольта брал, например, цинковую и медную пластинки, то после соприкосновения первая из них оказывалась заряженной положительно, а вторая — отрицательно. Когда приводили в соприкосновение медь с оловом или железом, то медь опять-таки заряжалась отрицательным образом, но в значительно меньшей степени, между тем как олово и железо получали положительный заряд. Наконец, если в контакт вступали медь с золотом или серебром, то первая заряжалась на этот раз положительным образом, золото же и серебро — отрицательным.

Свой основной опыт Вольта описывает в одном письме от 1797 г.¹ Получение такого значительного количества электричества путем простого соприкосновения различных металлов, прибавляет Вольта, представляет, конечно, нечто удивительное, и все специалисты, которым он показывал свой опыт, весьма поразились ему.

Чтобы узнать, каким электричеством заряжаются металлы после соприкосновения, Вольта приближал к электрометру, которому он сообщил предварительно электричество, натертую стеклянную или смоляную палочку и наблюдал, увеличивается или уменьшается расхождение золотых листочков. Если в соприкосновение между собой приводились цинк и медь, то после отделения их цинк заряжался положительным образом, ибо при приближении положительной стеклянной палочки расхождение листочков увеличилось, между тем как при приближении отрицательно заряженной смоляной палочки оно уменьшалось.

Изменяя на всевозможный лад свой основной опыт, Вольта получил следующий ряд электрических напряжений:

+
Цинк
Свинец
Олово
Железо
Медь
Серебро
Золото
Графит
—

Графит и наиболее известные металлы расположены в этом ряду в таком порядке, что каждый предыдущий член его, приведенный в соприкосновение со следующим за ним членом, заряжается положительным образом, между тем как последующий член заряжается отрицательным образом. При этом путем измерения с помощью электрометра с соломинками удалось установить, что разность электрического состояния между любыми двумя членами этого ряда тем больше, чем более они удалены друг

¹ Ostwalds Klassiker, № 118, стр. 54 и сл.

от друга. Так, для первых четырех членов ряда получались следующие числа ¹:

Цинк	|	Свинец = 5
Свинец	|	Олово = 1
Олово	|	Железо = 3.

Для разности напряжения цинк | железо получилось значение $9 = (5 + 1 + 3)$. Таким образом был найден закон, что разность электрических напряжений двух членов ряда равна сумме разностей напряжений всех лежащих между ними членов. Значит, в замкнутой цепи металлов, в которой, например, цинк соединен со свинцом, свинец с оловом, олово с железом, а последнее снова с цинком, электрические разности выравниваются, и напряжение вследствие этого равно нулю.

Риттер установил, что ряд электрических напряжений металлов соответствует тому ряду, в который располагаются металлы, если принимать во внимание их свойства вытеснять друг друга из химических соединений. В ряду

+
Цинк
Свинец
Медь
Ртуть
—

каждый предыдущий металл вытесняет следующие за ним из их растворов. Вследствие тождества двух этих рядов, построенных на основании гальванических и химических свойств металлов, Риттер назвал вытеснение одного металла другим гальваническим процессом. Риттер допускал при этом также, что источник гальванизма кроется в химических процессах. Гипотеза эта, находившаяся в противоречии с вольтовой теорией контакта, вначале не имела успеха, пока впоследствии она не получила опоры в исследованиях Фарадея.

На основании своих опытов Вольта принимал первоначально, что порождающая электричество сила пребывает исключительно в месте соприкосновения металлов и что животные и иные жидкости служат только проводниками. Но дальнейшие опыты убедили его в том, что и при соприкосновении между металлами и жидкостями возникает электродвижущая сила. Он приводил в соприкосновение изолированные серебряные, оловянные, цинковые пластинки с влажным деревом, бумагой или кирпичами. После отделения металлические пластинки оказались заряженными отрицательным электричеством. Металлы были названы им электровозбудителями первого класса, жидкости же, которых нельзя было включить в ряд электрических напряжений, — электровозбудителями, или проводниками, второго класса.

¹ Volta, Gilberts Annalen, т. 10, стр. 443,

„Соприкосновение различных проводников, — говорит Вольта в одном письме от 1796 г.¹, которые я называю сухими проводниками, или проводниками первого класса, с мокрыми, или проводниками второго класса, порождает электрическую жидкость и дает ей некоторый толчок. Не спрашивайте еще, как это происходит: пока достаточно знать, что это происходит и что мы здесь имеем дело с некоторым универсальным явлением“.

ВОЛЬТОВ СТОЛБ

Вольта показал, что в цепи, состоящей только из электро-возбудителей первого класса, не происходит движения электричеств, не возникает тока. Он показал далее, что ток можно вызвать, если два электровозбудителя первого класса соединены с влажным проводником второго класса и друг с другом непосредственно или при помощи третьего проводника, образуя таким образом цепь из проводников. Такая комбинация была названа гальваническим элементом. Для усиления действия последнего Вольта соединил между собой большое количество таких элементов в „столб“.

Первое сообщение об этом совершенно исключительного значения открытии Вольта сделал в 1800 г.². В письме президенту Королевского общества он сообщал, что, продолжая свои опыты над получением электричества путем простого соприкосновения, он построил новый прибор, который обладает в очень слабой степени действием лейденской банки, но зато превосходит ее в том отношении, что не требует предварительного заряжения его чужим электричеством, действуя всякий раз, если коснуться его соответствующим образом. По действию своему и по устройству прибор этот представляет известное сходство с электрическим органом электрического ската. На рис. 37 изображен первый вольтов столб. Устройство его Вольта описывает следующим образом³. „Берут 30, 40, 60, или больше кружков серебра, положенных каждый на кружок цинка, такое же количество кружков сукна, пропитанных соленой водой или щелоком и помещенных соответственно между двумя металлическими кружками; к сочетанию этих проводников в таком неизменном порядке и сводится все устройство нового прибора“. Кроме легкого сотрясения, которое испытывали, прикасаясь одной рукой к самой верхней пластинке и погружая другую

¹ Ostwalds Klassiker, № 118, стр. 4.

² В письме от 20 марта 1800 г., адресованном Бенксу (Banks), президенту Королевского общества. Письмо это было опубликовано в „Phil. Transact.“, 1800, стр. 403.

В Немецком музее в Мюнхене имеется копия вольтова столба по оригиналу, находящемуся в Комо.

³ Знаменитое письмо к Бенксу, вместе с некоторыми другими, более ранними письмами Вольты, начинающимися в 1796 г., вышло в немецком переводе А. Ф. Эгтингена в виде 117-го томика оствальдовской серии классиков точного знания.

руку в сосуд *b* и замыкая таким образом цепь, можно было также обнаружить действие этого прибора на слуховые, зрительные и вкусовые нервы.

При употреблении большого количества пластинок Вольта был вынужден либо окружить столб подпорками, либо же, как показано на рис. 38, разделить его на несколько частей. Пользование одним столбом имело то неудобство, что металлические кружки выдавли-

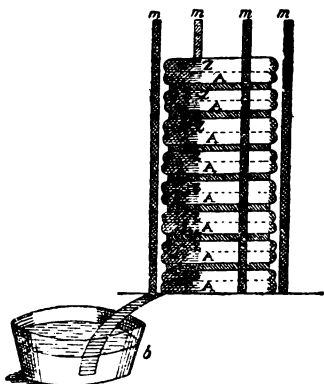


Рис. 37. Первый столб Вольты.

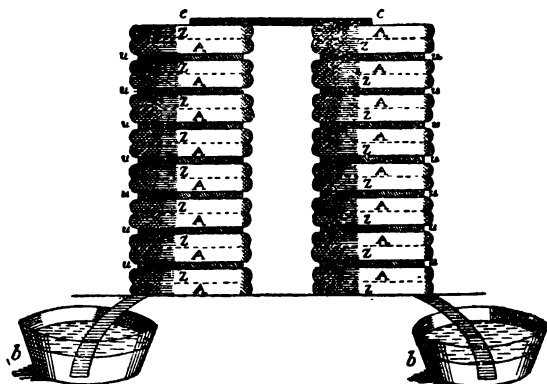


Рис. 38. Вольтов столб, состоящий из двух частей.

вали своей тяжестью из суконных кружков жидкость, которая разливалась под конец по всему столбу и уничтожала его действие. Чтобы избежать этого, Вольта поступил следующим образом. Он взял ряд стаканов, состоявших из неметаллического вещества, как дерево, глина и стекло, и наполнил их до половины соленой водой или щелоком. Затем он соединил их при помощи металлических дуг, так что они образовали цепь из проводников (рис. 39).



Рис. 39. Вольтов прибор со стаканами.

Часть *A*, погруженная в один из стаканов, была из чистой или посеребренной меди, другая же часть *Z*, погруженная в следующий стакан,—из олова или цинка. Оба металла были спаяны в каком-нибудь месте над частью дуги, погруженной в жидкость. Чтобы поверхность соприкосновения жидкости с металлами была достаточно велика, Вольта придал металлам форму пластинок.

„Совокупность 30, 40 или 60 соединенных подобным образом стаканов,—говорит Вольта,—расположенных либо по прямой линии,

либо по кривой,— вот из чего состоит этот новый прибор. По принципу своего устройства и в отношении веществ, из которых он состоит, он тождественен с вышеописанным столбом¹.

Чтобы получить сотрясение, достаточно было погрузить одну руку в один из стаканов, а другую в какой-нибудь другой стакан. Сотрясение было тем сильнее, чем дальше были друг от друга оба стакана. Сильнейший удар Вольта получил, коснувшись первого и последнего члена цепи.

Действие, вызывавшееся прибором из 40 или 50 стаканов, не ограничивалось одним сотрясением организма. Прибор действовал также на органы обоняния, зрения, слуха и на органы чувствительности, вызывая в каждом из них соответствующие ощущения. Факт этот имел величайшее значение для физиологии органов чувств и впоследствии был использован Иоганном Мюллером в его учении о специфической энергии этих органов.

Действие прибора на кожу Вольта описывает в следующих выражениях: „В тот момент, когда я замыкаю цепь, я испытываю в месте прикосновения к коже и несколько выше его удар и укол, которые быстро проходят и повторяются каждый раз при замыкании и размыкании цепи. При частом повторении этих смен получается очень неприятное покалывание. Если же цепь остается замкнутой, то в течение нескольких секунд не испытываешь больше ничего, но затем в месте прикосновения проволоки к телу возникает новое ощущение, именно жгучая, не сопровождаемая никаким сотрясением боль, ограничивающаяся местом прикосновения, жжение, которое не только не ослабевает, но, наоборот, становится все сильнее, делаясь под конец невыносимым и прекращаясь лишь тогда, когда размыкают цепь. Это является убедительнейшим доказательством того, что электрический ток длится до тех пор, пока находятся в соединении между собой проводящие вещества, и что он прекращается лишь тогда, когда прерывается это соединение. Может показаться парадоксальным и загадочным, что электрическая жидкость движется непрерывным образом. Тем не менее это можно, так сказать, осязать руками“.

Изобретение вольтова столба вызвало величайшую сенсацию не только в Англии, но и во Франции. По приглашению первого консула Вольта приехал в Париж, где прочел в ноябре 1801 г. доклад о своих открытиях. Для составления о них отчета¹ была образована комиссия из самых выдающихся французских ученых. Наполеон приказал выбить в честь Вольты медаль и установил премию за лучшие работы в области гальванического электричества.

Одним из первых немецких ученых, начавших заниматься гальваническим электричеством, был Риттер. Как и Вольта, он понял, что

¹ Доклад математическо-физическому классу Французского национального института о гальванических опытах Вольты. См. „Gilberts Annalen“, X, 1802, стр. 389 и сл. Извлечение из прочитанного Вольтой в Париже доклада в немецком переводе тоже имеется в „Летописях“ Гильберта („Gilberts Annalen“, т. X, стр. 421).

гальванизм не зависит от наличия какого-нибудь животного организма. Он доказал далее тождество гальванических и электрических явлений, оспаривавшееся нередко еще и впоследствии¹.

Что оба полюса столба оказывают действие притяжения, Риттер доказал следующим образом. Он соединил полюсы столба с двумя проволоками, к концам которых прикрепил золотые листочки. При приближении листочков друг к другу они стали взаимно притягиваться, пока под конец не соприкоснулись и не замкнули цепи².

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Прежде чем заняться рассмотрением химических, термических и динамических действий открытой Гальвани и Вольтой силы, мы проследим за дальнейшей судьбой гальванических цепей, прообразом которой был прибор Вольты.

Из усовершенствований вольтова столба, последовавших быстро одно за другим вскоре после его изобретения, надо прежде всего упомянуть о следующем улучшении. Чтобы сделать более полным соприкосновение металлических пластинок, их начали спаивать между собой³. Уже Вольта доказал, что физиологическое действие столба пропорционально количеству пластинок. Никольсон (Nicholson) подтвердил это правило и для химического действия столба. Естественна была мысль исследовать влияние диаметра пластинок на действие столба. Соответствующие исследования привели к тому результату, что увеличение диаметра пластинок вызывает усиление интенсивности искр. Столб из 5 больших пластинок давал более сильные искры, чем столб из 80 маленьких. Но зато физиологическое действие 5 пластинок было очень слабое⁴.

В 1805 г. был тщательно изучен вопрос о связи термического действия гальванического тока с числом и величиной пластинок⁵. Было найдено, что большие пластинки легче накаляют проволоки. В то время как, например, столб из 400 пар пластинок в 4 дюйма диаметром накалял только железную пластинку в 2 дюйма длиною, другой столб из 100 лишь пар, но диаметром в 8 дюймов, был в состоянии накалить кусок той же самой проволоки длиною в 32 дюйма. Все эти явления были сведены воедино лишь значительно позже в законе Ома (Ohm) о связи между силой тока, электродвижущей силой и сопротивлением.

Предшественником Ома был Риттер⁶, пришедший уже в 1805 г. к тому выводу, что „действие столба при неизменном напряжении

¹ „Gilberts Annalen“, т. 8, стр. 285; IX, стр. 265, 1801.

² „Gilberts Annalen“, т. 8, стр. 390.

³ „Gilberts Annalen“, т. 9, стр. 132.

⁴ „Gilberts Annalen“, т. 9, стр. 385.

⁵ „Gilberts Annalen“, т. 19, стр. 45.

⁶ Иоганн-Вильгельм Риттер (1776—1810) проживал в качестве частного ученого в Готе и Веймаре. В 1804 г. Риттер был приглашен в Баварскую академию наук в Мюнхен. Он был одним из самых первых исследователей в области гальванического электричества.

зависит от суммы проводимости в столбе и в замыкающей дуге ¹. Если мы обозначим напряжение (электродвижущую силу) через E , действие (интенсивность) через i , а внутреннее и внешнее сопротивление соответственно через W и w , то закон Ома о взаимоотношении между названными величинами выразится формулой:

$$i = \frac{E}{W + w}.$$

В тезисе Риттера это взаимоотношение находится уже в виде намека.

После того как Вольта произвел свой основной опыт, естественно возникала мысль построить гальванический столб без жидкости и дать таким образом новый аргумент контактной теории в ее борьбе с химической концепцией. Под влиянием этой мысли Беренс (Behrens) построил свой электроскоп со столбом, а Замбони (Zamboni) — свой сухой столб.

Беренс поместил изолированно подвешенный золотой листочек между противоположными полюсами двух одинаковых столбов, составленных попеременно из золотой бумаги и оловянной фольги. Так как силы притяжения были равны, то изолированный золотой листочек находился первоначально в вертикальном положении.

Если к шарiku, на котором висел золотой листочек, приближали наэлектризованное тело, то он притягивался либо положительным полюсом одного столба, либо отрицательным полюсом другого, в зависимости от того, было ли это тело наэлектризовано положительным или отрицательным образом ².

Целесообразнее оказалась форма, приданная впоследствии электроскопу со столбом Риссом (Riess) ³. Рисс пользовался только одним, составленным попеременно из золотой и серебряной бумаги столбом, полюсы которого были соединены с двумя находившимися

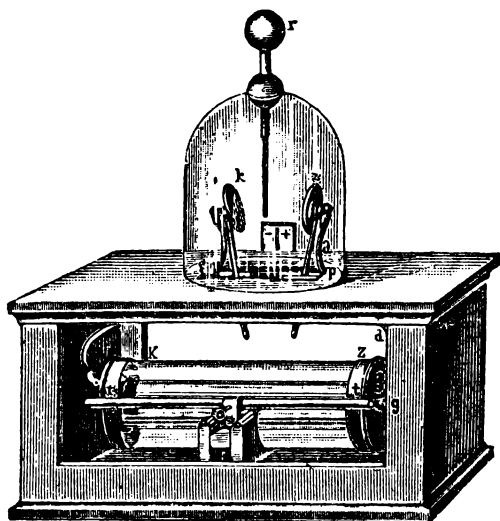


Рис. 40. Электроскоп со столбом.

¹ „Gilberts Anna'en“, т. 19, 1805, стр. 22.

² „Gilberts Annalen“, т. 23, стр. 25.

³ Riess, Die Lehre von der Reibungselektrizität, т. I, стр. 18 Berlin 1853.

друг против друга металлическими пластинками. Количества электричеств этих пластинок (рис. 40) были равны. Между пластинками висел изолированный золотой листочек. Если ему сообщали хотя бы ничтожнейшее количество электричества, то он начинал двигаться по направлению к той или другой пластинке, обнаруживая этим не только одно наличие электричества, но и род его.

Независимо от Беренса, изобретение которого на первых порах не обратило на себя большого внимания, итальянец Замбони

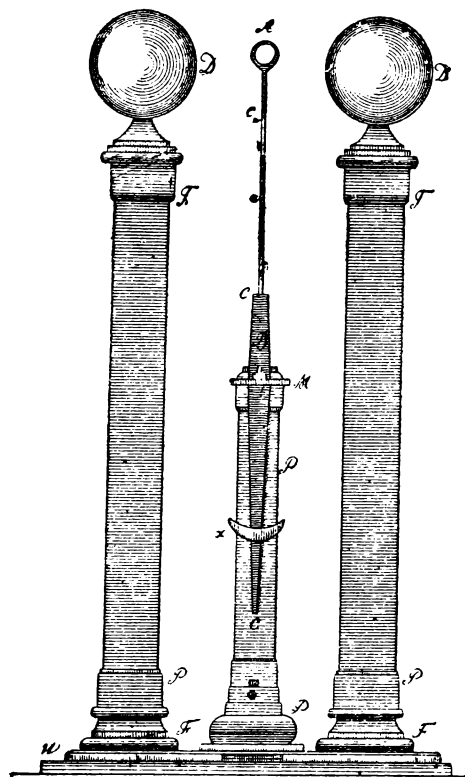


Рис. 41. Сухой столб Замбони.

которым пользовался Эрман², обратно в обыкновенный воздух, то он снова начинал действовать.

Уже раньше Риттер установил, что столбы, составленные из двух металлов и сухой кожи, обязаны своим действием незначительному количеству влаги, содержащемуся в сухом на первый взгляд промежуточном веществе³.

¹ Zamboni, Della pila elettrica a secco, Verona 1812. См. также „Schweiggers Journal für Chemie und Physik“, т. 10, стр. 129.

² Пауль Эрман (1764—1851) был профессором физики в Берлине и выпустил много работ из области учения об электричестве.

³ Ritter, Physik-chemische Abhandlungen, т. 2, стр. 270.

изготовил сухие столбы из кружочков золотой и серебряной бумаги, которые он клал тысячами друг на друга¹. С помощью своего столба Замбони пытался построить своего рода *perpetuum mobile*. В то время как Беренс повесил между двумя сухими столбами золотой листочек, Замбони помещал между противоположными полюсами *DD* столбов (рис. 41) магнитную стрелку *ссс*. Верхний конец этой стрелки притягивался и отталкивался попеременно полюсами *DD*, так что стрелка непрерывно раскачивалась взад и вперед.

Изобретение сухих столбов на первых порах означало, казалось, победу контактной теории, пока в 1807 г. Эрман (Erman) не показал, что сухой столб лишается своего действия, если поместить его в совершенно сухом воздухе, где гигроскопическая бумага теряет свою влажность. Когда столб переносили из осушающего прибора с хлористым кальцием,

ОТКРЫТИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Но вернемся к гальваническому столбу. Уже в 1802 г. было сделано новое основоположное открытие. Какой-то исследователь, пропустив на некоторое время ток через прибор для разложения воды, прикоснулся затем к языку платиновыми проволоками его. Прибор стал теперь действовать как гальванический элемент, ибо он вызывал знакомое вкусовое ощущение. Таким путем была открыта поляризация и вызываемый ею поляризационный ток¹.

Аналогичное этому наблюдение сделал неоднократно уже упоминавшийся Риттер. Он изготовлял столб исключительно из серебра и пропитанных влагою суконных кружочков без всякого второго металла. Сперва этот столб не давал никакого тока, но после того как он подвергнул его на некоторое время действию вольтова столба и затем разъединил его с последним, этот, содержащий только один металл „зарядный столб“ обнаружил ток. Риттер думал сперва, что он изобрел новый вид конденсатора, пока Вольта² не показал, что здесь имеют дело не с простым накоплением электричества, а с химическим разложением воды. Под влиянием последнего каждая серебряная пластинка покрывается слоем водорода на стороне своей, обращенной к положительному полюсу, и слоем кислорода на стороне, обращенной к отрицательному полюсу. Такой, состоящий из двух газов и одного металла столб действует до тех пор, пока разложившаяся на свои элементы вода не образуется обратно. Таким образом зарядный столб Риттера представлял собой первую форму аккумулятора, а Вольта в приведенных нами выше словах совершенно правильно изложил принцип поляризации, на основании которого впоследствии Планте изготовил вторичные элементы, или аккумуляторы.

Риттер нашел также, что при включении зарядного столба ток вольтова столба быстро ослабевает. Явление это объясняется тем, что порождаемый зарядным столбом ток противоположен по своему направлению току вольтова столба. Было установлено, что по тем же причинам, т. е. вследствие появления продуктов разложения, вольтов столб должен ослабеть даже тогда, когда он не соединен с „зарядным столбом“, или с прибором для разложения воды. Стремление устранить этот недостаток привело к устройству „постоянных элементов“.

Идея, легшая в основу создания постоянных элементов, заключается в том, чтобы путем химических комбинаций уничтожить ослабление силы столба, или так называемую „поляризацию“. Для этого от первоначальных элементов с одной жидкостью перешли к элементам с двумя электролитами.

Действительно, было замечено, что ток из элементов цинка и платины, ослабевший вследствие появления слоя водорода, покрывшего платину, снова заметно усиливается, если привести в сопри-

¹ Voigts, Magazin f. d. Neueste, т. 4, 1802, стр. 832.
„Cilberts Annalen“, т. 19, стр. 490.

кисновение платину с некоторым количеством азотной кислоты. Причина этого явления, названного „деполяризацией“, заключается, как оказалось, в том, что азотная кислота окисляет водород, устраняя его таким образом на отрицательном электроде.

Первый постоянный элемент был построен Даниелем (Daniell), внесшим в вольтов элемент следующие изменения¹. Медь он поместил в раствор медного купороса, находившийся в пористом глиняном цилиндре², который в свою очередь был погружен в серную кислоту, окружавшую цинк. При прохождении тока на поверхности цинка образуется окись цинка, растворяющаяся серной кислотой. На медном электроде осаждается теперь не водород, а эквивалентное ему количество меди, так что поверхность медного электрода остается неизменной. Благодаря всему этому устраняется явление поляризации. Получившийся элемент носит очень постоянный характер, выполняя таким образом то условие, которое Ом, когда он производил свои изыскания законов гальванического тока, назвал предпосылкой для точных измерений.

Гrove первый использовал для устройства гальванического элемента легко разложимую азотную кислоту³. Он поместил открытый с обеих концов цилиндр в слабый раствор серной кислоты, а в цилиндр этот поместил пористый глиняный стакан, содержащий азотную кислоту, и в качестве второго металла платину. Таким образом элемент Grove состоял из следующих веществ:

- 1) цинка, на котором образуется окись цинка, растворяющаяся в серной кислоте;
- 2) серной кислоты как первого электролита;
- 3) азотной кислоты как второго электролита, к которой направляется ток через поры глиняного стакана;
- 4) платины, на которой выделяется водород. Последний окисляется азотной кислотой, испускающей поэтому пары бурого цвета.

Когда перешли к построению других элементов, то чисто эмпирически приняли электродвижущую силу элемента Даниеля за единицу (вольт). Даже после принятого в настоящее время соглашения насчет электрических единиц электродвижущая сила, или напряжение элемента Даниеля, равна довольно точно одному вольту.

Электродвижущая сила элемента Grove оказалась равной 1, электродвижущей силы элемента Даниеля, но зато он имел то неудобство, что для него необходима была уже и тогда стоявшая очень дорого платина и что возникавшие из азотной кислоты газы отравляли воздух. Поэтому Бунзен заменил платину пористым углем, который он получал из каменного угля и кокса. Впоследствии стали изготовлять угольные пластинки из ретортного угля, побоч-

¹ „Phil. Transact.“, 1836, стр. 106.

² На первых порах он пользовался животной перепонкой.

³ „Phil. Magaz.“, серия III, т. 15, 1839.

ного продукта газовых заводов¹. Чтобы избежать образования ядовитых газов, азотную кислоту заменили другими окисляющими веществами (перекисью марганца, хлористым калием, хромовой кислотой). Особенно целесообразным оказался построенный Бунзеном элемент с хромовой кислотой².

¹ По предложению Шейнбейна (Schönbein). См. „Poggendorfs Annalen“, т. 49 (1840), стр. 589.

² Мы здесь не можем останавливаться на многочисленных типах новейших элементов. Мы упомянем еще только элемент Лекаанше, в котором пользуются нашатырем, а для деполяризации—перекисью марганца. Читателю, интересующемуся этим вопросом, мы можем рекомендовать книгу „Die galvanischen Elemente von Volta bis heute“, обработанную В. фон-Гауком (Hauck) по Ниоде (Niaudet) (Braunschweig, Vieweg und Sohn, 1881).

В Немецком музее в Мюнхене имеется (в зале 24) коллекция элементов (среди них элементы Даниеля, Бунзена, Грове, Сименса), а также построенный Риттером „зарядный столб“, в котором содержится принцип аккумулятора.



ОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИИ

Как и в случае многих других великих открытий, первые наблюдения насчет химического действия гальванического электричества не привлекли к себе внимания и ими не занимались далее. Так, уже в 1795 г. было указано на то, что, если погрузить цинк и серебро в воду, то цинк покрывается слоем окиси¹. А. фон-Гумбольдт (Humboldt) повторил этот опыт и наблюдал появление на серебре пузырьков, состоявших из водорода². Надо заметить, что Гумбольдт был одним из главных противников Вольты. В 1797—1799 гг. он выпустил сочинение о животном электричестве под заглавием „Versuche über die gereizte Nerven- und Muskelfaser“. („Опыты о раздраженных нервных и мышечных волокнах“). В этой книге он защищал ту точку зрения, что гальванические явления вызываются особой жидкостью, скопляющейся в животных органах. Гумбольдт считал даже сомнительным, что эта жидкость электрической природы, как это допускал Гальвани. Лучший прием работы Гальвани и Вольты встретили по ту сторону канала. Лишь только Англии достигла весть об изобретении вольтова столба, как тамошние физики поспешили изготовить прибор Вольты и начали экспериментировать с ним. При этом они обратили внимание на упущенные из виду Вольтой, а, быть может, и игнорировавшиеся им — благодаря его предубеждению в пользу основанной им контактной теории — химические процессы.

ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДЫ

Первым английским ученым, построившим электрический столб по способу Вольты, был Карлейль (Carlisle)³. Чтобы добиться лучшего соприкосновения между замыкающей проволокой и верхней пластинкой, он смочил последнюю каплей воды. При этом он заметил, что вокруг проволоки образовались газовые пузырьки. Желая тщательнее изучить это явление, Карлейль вместе с Никольсо-

¹ Fischer, Gesch. d. Phys., т. VIII, стр. 619.

² Fischer, Gesch. d. Phys., т. VIII, стр. 654.

³ Антоний Карлейль (1768—1840), профессор анатомии в Лондоне.

ном¹ пропустил в мае 1800 г. гальванический ток через наполненную водой трубку, причем они пользовались двумя латунными проволоками². Расстояние между концами этих проволок равнялось $1\frac{3}{4}$ дюйма. Одна проволока была соединена с верхней, другая с нижней пластинкой гальванического столба. Тотчас же из конца соединенной с серебром проволоки показалась слабая струя небольших газовых пузырьков, а на конце другой проволоки образовался налет. Газ оказался водородом. Кислород же воды соединился с веществом проволоки, ведшей к цинку, и образовал благодаря этому налет на ее конце.

„При первом же появлении водородного газа, — читаем мы в отчете об этих опытах, — мы ожидали разложения воды. Но мы были немало поражены; заметив, что водород получался лишь на конце одной проволоки, между тем как кислород соединялся с другой проволокой, отстоявшей от первой почти на 2 дюйма. Я исследовал затем поведение трудно окисляющихся металлов. Для этого я укрепил две платиновые проволоки в короткой трубке, внутренний диаметр которой равнялся $1\frac{1}{4}$ дюйма. Когда прибор этот был соединен со столбом, то у соединенной с серебром проволоки появился обильный поток мелких газовых пузырьков; такой же газовый поток, но гораздо более слабый, струился и из соединенной с цинком проволоки. Было естественно предположить, что получавшийся со стороны серебра и более сильный газовый поток представлял собой водород, а более слабый поток, струившийся со стороны цинка, заключал в себе кислород. Дальнейшее исследование подтвердило это предположение“.

Это было первое полное бесспорное, полученное с помощью гальванического тока разложение химического соединения, сложный состав которого, впрочем, был уже установлен ранее. Правда, у Карлейля и Никольсона в лице фон-Гумбольдта и других исследователей были предшественники, которые уже отметили определенные явления, основывавшиеся, очевидно, на химических действиях тока. Мало того, еще до изобретения вольтова столба была высказана догадка, что химические изменения являются, может быть, не следствием, а причиной образования электричества³. Но обоим английским исследователям принадлежит та заслуга, что они впервые произвели планомерное и сулившее богатые результаты разложение воды при помощи гальванического тока. Естественна была поэтому мысль применить новый метод исследования к веществам еще неизвестного химического состава. Это и сделал несколько лет спустя после производства вышеуказанного первого электролиза англичанин Дэви, добившийся в этой области величайших успехов.

¹ Вильям Никольсон (1753—1815), инженер и писатель, деятельность которого протекала в Лондоне; известен также как изобретатель названного по его имени весового ареометра.

² „Gilberts Annalen“, т. VI, стр. 340, 1800.

³ Но р р е, Cesch. d. Elektrizität, стр. 137.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ДРУГИЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Если у Никольсона и Карлейля был предшественник в лице фон-Гумбольдта, то у Дэви в рассматриваемой области был предшественник в лице уже упоминавшегося нами Риттера¹. В сентябре 1800 г.² Риттер сообщил, что при помощи столба, состоящего из 64 пар пластинок, он разложил не только воду, но и медный купорос, причем выделялась медь. Риттер испытал также действие тока на аммиак. В результате он пришел к тому выводу, что нет такой жидкости, которой нельзя разложить гальваническим током.

Мы, немцы, можем гордиться тем, что стараниями наших соотечественников, работавших в тиши, неоднократно открывались новые области знания. Но позорным фактом, объясняемым, впрочем, прежним политическим состоянием страны и нашим национальным характером, является то, что дальнейшее исследование открытых таким образом областей и практическое использование новых добытых познаний, а вследствие этого также и слава открытия доставались иностранцам. К тому же в начале XIX в. в Германии господствовала недооценивавшая эмпирическое исследование натурфилософия, в плену которой находились Риттер, а в молодости также и фон-Гумбольдт. Эта натурфилософия принесла много вреда немецкому естествознанию. Перед английскими исследователями не стояло таких препятствий. И вот мы видим, как англичанин Дэви выступает в этой новой области с открытиями, по своему значению нисколько не уступающими открытиям Вольты.

Гемфри Дэви родился 17 декабря 1778 г. в Корнуолле³, в бедной семье, — отец его был резчиком по дереву. Дэви в молодости поступил в помощники к одному хирургу, которому он помогал также при изготовлении лекарств. Благодаря этому в нем пробудился интерес к химии, предопределивший всю его дальнейшую судьбу. Двадцати лет от роду Дэви получил место в одном институте, основанном в Бристоле, для изучения действия газов на организм⁴. Дэви сделал здесь наблюдение, что открытая Пристли в 1772 г. закись азота (веселящий газ) действует на организм опьяняющим образом⁵. Далее он произвел ряд исследований над физиологическими действиями водорода и углекислоты, создавших ему репутацию отличного экспериментатора. Вследствие этого Дэви вскоре после того, как известие об открытиях Вольты достигло

¹ Иоганн-Вильгельм Риттер (1776—1810) был членом Баварской академии наук.

² „Gilberts Annalen der Physik“, т. 6, стр. 470, 1800.

³ Научные работы Дэви были собраны его братом и изданы в 10 томах: The collected works of Sir Humphry Davy, edited by his brother John Davy, London 1839—1841.

⁴ Pneumatic Inst. d. Dr. Beddoe (Беддо).

⁵ См. E. C a h e n, Das Lachgas, Eine chemisch-kulturhistorische Skizze, Lpz., W. Engelmann, 1907.

ГЕМФРИ ДЭВИ

1778—1827

Англии, был приглашен профессором химии в Royal Institution в Лондоне и был выбран членом Королевского общества. Здесь в течение первого десятилетия XIX в. он развил необычайную деятельность, придавшую совершенно новое направление учению о гальванизме. Только исключительная работа такого исследователя, как Дэви, охватывавшая одновременно как физическую, так и химическую сторону явлений, способна была искоренить многочисленные заблуждения, свившие себе гнездо в учении о гальванизме вследствие неправильного толкования наблюдавшихся электрохимических процессов. Электричеству приписывали тогда всевозможные вещи. Ведь многие исследователи считали возможным получить из чистой воды и электрической жидкости азотную кислоту, соляную кислоту, едкий натр и какую-то особую электрическую кислоту. Дэви доказал, что во всех таких случаях в воде содержались разные примеси, от разложения которых и возникали вышеназванные соединения, или же, что в других случаях в воду под влиянием электрического тока попадали разложившиеся составные части самих сосудов¹. Он показал далее, что химически чистая вода разлагается электричеством только на кислород и водород². За этим последовал ряд опытов насчет „увлечения некоторых составных частей тел электричеством“. Явление это впоследствии было названо передвижением ионов и было объяснено при помощи гипотезы о свободных, заряженных положительным или отрицательным образом ионах. Итоги этих опытов Дэви формулирует приблизительно следующим образом. Водород и металлы притягиваются отрицательно наэлектризованными металлическими поверхностями и отталкиваются положительно наэлектризованными. Наоборот, кислород и кислоты (мы бы теперь сказали: кислотные остатки) притягиваются положительными металлическими поверхностями и отталкиваются отрицательными. Эти силы притяжения и отталкивания достаточно велики, чтобы преодолеть действие избирательного сродства.

То обстоятельство, что составные части химических соединений появляются каждая в отдельности на двух далеко отстоящих друг от друга электродах, Дэви объясняет на примере воды следующим образом. Так как водород отталкивается положительной металлической поверхностью (название „электрод“ было введено лишь Фарадеем), а кислород отрицательной поверхностью, то по середине жидкого проводника должно происходить соединение оттолкнутых таким образом веществ, иначе говоря, происходит ряд разложений и новых соединений в промежутке между обеими металлическими поверхностями [(идея эта была впоследствии снова выдвинута Гротгуссом (Grothuss)]³.

¹ Исследование это, переведенное на немецкий язык, вышло в 1893 г. под названием: „Über einige chemische Wirkungen der Elektrizität“ в виде 45-го томика оствальдовской серии классиков точного знания.

² Ostwalds Klassiker, № 45, стр. 12.

³ „Ann. d. Chimie“, 58, 54, 1806.

ОТКРЫТИЕ КАЛИЯ И НАТРИЯ

В 1807 г. Дэви сообщил Королевскому обществу об одном очень важном открытии. Уже Лавуазье высказал предположение, что щелочи и земли представляют собой аналогичные металлическим известям (окислам) соединения кислорода с какими-то еще неизвестными элементами. Щелочным было и вещество, переходившее из стенки стеклянного сосуда в воду, когда последнюю подвергали в этом сосуде действию электролиза. Поэтому вполне была естественна мысль применить разлагающую силу гальванического тока к самой щелочи, чтобы выяснить, наконец, загадочную природу этого соединения.

Дэви попытался сперва разложить кали (окись калия) и натрон (окись натрия) (*) в их водных, насыщенных при обыкновенной температуре растворах с помощью сильнейших находившихся в его распоряжении гальванических приборов. Но, несмотря на всю силу тока, разложить удалось лишь воду, из которой выделились с сильным бурлением и при значительном повышении температуры только водород и кислород. Поэтому в своих дальнейших опытах Дэви уже расплавлял кали и натрон. Для этого он помещал их в платиновую ложку и пользовался электричеством как средством для плавления и разложения.

Правда, кали, который он совершенно высушил путем нагревания, не проводит электричества. Но достаточно увлажнить его небольшим количеством жидкости, не изменяющим заметно твердого состояния кали, чтобы он стал уже проводить электричество. В этом случае кали плавится и разлагается действием сильного тока. Дэви взял небольшой кусочек чистого кали, оставил его на несколько секунд в воздухе, благодаря чему поверхность его, впитавшая влагу из воздуха, стала проводящей, положил его на изолированный платиновый диск, соединенный с отрицательным полюсом батареи из 250 пар пластинок, и прикоснулся к поверхности кали положительной платиновой проволокой. Тотчас же обнаружилось энергичное действие тока. Кали начал плавиться. На верхней поверхности его Дэви наблюдал сильное бурление. На нижней, или отрицательной, поверхности не было заметно выделения газа, но зато Дэви нашел там маленькие шарики, обладавшие сильным металлическим блеском и очень похожие на ртуть. После ряда дальнейших опытов он убедился в том, что эти шарики и представляли искомое им вещество, именно особое горючее тело, металл, лежащий в основе кали. Дэви нашел, что присутствие платины не оказывает никакого влияния на результат опыта и что металл этот служит только проводником электричества, производящего разложение. Независимо от того, замыкал ли он ток медью, серебром, золотом, графитом или углем, он всегда получал одно и то же вещество. В случае натрона наблюдалось то же самое, что и в случае кали, если с ним поступали таким же образом.

При всех разложениях химических соединений, производившихся Дэви ранее, горючие элементы получались всегда на отрицательном

полюсе, кислород же появлялся на положительном полюсе или же вступал там в соединение с другими элементами. Естественна была поэтому мысль, что при действии электричества на щелочи новые вещества должны вести себя совершенно аналогичным образом.

Чтобы проверить это, Дэви¹ произвел в приборе, в котором он замкнул ртутью доступ внешнему воздуху, ряд опытов, подтвердивших целиком его догадку. Действительно, когда он заключил в снабженные платиновыми проволоками стеклянные трубки твердый кали или натрон, впитавшие столько влаги, что они стали проводить электричество, и пропустил через проволоки ток, то новые вещества появились на отрицательном полюсе; что же касается газа, который одновременно с этим стал выделяться на положительном полюсе, то он оказался чистым кислородом. На отрицательном полюсе не появлялось вовсе газа, за исключением того случая, когда имелось более или менее значительное количество воды, ибо в этом случае благодаря действию получившегося калия на воду здесь выделялся водород.

Чтобы предупредить всякие возражения против своего утверждения, что щелочи являются только соединением кислорода с новооткрытыми металлами, Дэви дополнил произведенный им анализ (электролиз) щелочей синтезом их. В особо устроенных замкнутых от наружного воздуха ртутью стеклянных трубках несколько шариков калия были приведены в соприкосновение с кислородом. Они моментально поглотили кислород и покрылись коркой окиси калия. Элемент натрий вел себя аналогичным образом и дал при синтезе натрон. Если полученные из кали и натрона элементы нагревались в некотором количестве кислорода, то они быстро сгорали, давая белое яркое пламя, а металлические шарики превращались в плотную белую массу, состоящую из кали и натрона, в зависимости от того, брали ли для опыта калий или натрий. При этом происходило поглощение кислорода. Вес возникших при опыте окисей значительно превосходил вес сгоревших веществ.

На основании всех этих фактов Дэви заключил, что кали и натрон состоят из кислорода и двух соответствующих элементов. Химическое сродство щелочных металлов с кислородом оказалось столь великим, что Дэви вынужден был хранить открытые им элементы только под нефтью. Вода разлагалась ими так энергично с выделением водорода, что даже ничтожное количество ее, заключающееся еще в спирте и в эфире после самой тщательной очистки этих жидкостей, уничтожалось ими².

¹ Davy, On some new Phenomena of chemical changes, produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alcalies. Работа эта, переведенная на немецкий язык под названием „Elektrochemische Untersuchungen von Humphry Davy“ („Электрохимические исследования Гемфри Дэви“), вышла в 1893 г. в виде 45-го томика остальдовской серии классиков точного знания в изд. Энгельмана в Лейпциге.

² По этой причине стали употреблять натрий, чтобы готовить абсолютный спирт, т. е. чтобы лишить спирт последних следов воды.

Окиси металлов, нагревавшиеся вместе с калием, теряли свой кислород. Когда Дэви стал нагревать небольшое количество окиси железа с калием, то в результате бурной реакции образовался кали вместе с частицами серого металла, оказавшегося железом. Еще быстрее лишались своего кислорода окиси свинца и олова. Если калий имелся в избытке, то образовавшийся металл соединялся с калием и давал лигатуру. Натрий в целом вел себя подобно калию, хотя и обнаруживал некоторые характерные отличия.

По окончании этого исследования Дэви пришел к мысли, что щелочные земли, как барит и стронциан, представляют собой соединения того же вида, что и щелочи, т. е. соединения с кислородом особых очень горючих металлических элементов¹. Известь, магнезия, глинозем и кремнезем обнаруживали тоже сходные с щелочами черты². Поэтому можно было надеяться, что и эти не поддающиеся анализу вещества не сумеют противостоятъ действию мощных батарей и что с помощью нового метода удастся выделить их составные части³.

Исследование сил сродства новых металлов, содержащихся в щелочах, стало предметом огромного множества опытов. Металлы эти стали могущественным средством химического анализа, и так как по силе химического сродства с кислородом они превосходили все известные вещества, то во многих случаях они могли заменять электричество для химических разложений. Так, например, как мы увидим в дальнейшем, входящие в кремнезем и глинозем элементы, кремней и алюминий, были впервые выделены из своих соединений путем воздействия на последние щелочных металлов. Путем гальванического тока алюминий был получен лишь впоследствии.

Как и предвидел Дэви, ему вполне удался электролиз извести, барита, стронциана и магнезии. Уже год спустя после открытия щелочных металлов он мог сообщить изумленным современникам об этом своем новом достижении.

Одним из важнейших результатов исследования Дэви была совершенно новая оценка значения кислорода как составной части химических соединений. Если Лавуазье назвал этот элемент кислотообразующим началом, то теперь с равным правом можно было указать на его совершенно исключительное значение при образовании щелочей. Поэтому Дэви мог заявить в конце своего исследования: „Кислород содержится во всех истинных щелочах. То самое вещество, которое французы называют началом кислотности, можно поэтому также назвать началом щелочности“. Как известно, согласно

¹ Под названием щелочных земель понимают окиси металлов кальция, стронция и бария (CaO, SrO, BaO). Окиси эти прежде назывались известью, стронцианом и баритом.

² Магнезия, глинозем, кремнезем представляют собой окиси магния, алюминия и кремния.

³ Барий, стронций, кальций и магний были вскоре затем выделены самим Дэви. Кремний был впервые получен Берцелиусом в 1823 г. Алюминий выделил из глинозема Велор в 1827 г.

современным воззрениям, свойство основности обуславливается наличием гидроксильной группы OH .

Вполне понятно, что после того как Дэви установил эту новую роль кислорода, он обратился также к изучению летучей щелочи — аммиака. Но здесь он совершил ошибку, предположив, что нашел — как он этого искал в аммиачном газе (NH_3) — кислород, хотя в действительности в совершенно чистом и хорошо высушенном аммиаке этого элемента нет. Однако и здесь, как известно, кислород является источником щелочности, ибо аммиак только в соединении с водородом и гидроксильной группой воды дает настоящее основание ($\text{NH}_3 + \text{HOH} = \text{NH}_4 \cdot \text{OH}$). Дэви формулировал также вполне правильно отношение аммиака к щелочам, заметив, что он относится к последним точно так, как растительные кислоты со сложным радикалом относятся к минеральным кислотам более простого состава. Согласно этому, принятому и в настоящее время взгляду, калию будет соответствовать группа NH_4 .

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ХИМИЧЕСКОЕ СРОДСТВО

Редко в какую эпоху химия обогатилась такой массой новых фактов, как это произошло в течение столь короткого промежутка времени благодаря электрохимическим исследованиям Дэви. В гальваническом токе исследователи получили самое могущественное орудие химического анализа. Наряду с изучением разлагающего действия вольтова столба ученые обратились к рассмотрению химических явлений, имеющих место внутри столба между металлами и жидкостями. В то время как прежде в этих изменениях видели нечто второстепенное, теперь стали усматривать в химическом процессе, происходящем внутри цепи, причину электрического тока.

Правда, уже Дэви установил, что не всякий химический процесс дает начало току. Если сжигали железо в кислороде, соединив вместе с тем металл с электрометром, то последний во время процесса горения не обнаруживал ни следа электрического заряда. Точно так же не замечалось образования электричества во время соединения путем вспышки селитры с древесным углем. Аналогичное происходило и при соединении твердой щелочи с серной кислотой¹. Несмотря на это Дэви пытался свести химическое сродство к силам притяжения и отталкивания, так что мы должны рассматривать его как творца электрической теории химических соединений, которая подробнее была разработана Берцелиусом и после ряда улучшений легла в основу современных воззрений.

Первоначально Дэви был сторонником чисто химической теории; но впоследствии он старался соединить ее с контактной теорией, допуская, что атомы при соприкосновении заряжаются противоположными электричествами и вследствие этого взаимно притягивают друг друга. Согласно воззрениям же Берцелиуса про-

¹ Ostwalds Klassiker, № 45, стр. 44.

твояположные электрические заряды свойственны атомам изначально и при соединении дают разряд. „Все тела, вступающие между собой в соединения,— так развивает свою теорию Дэви,— обнаруживают при соприкосновении противоположные электрические состояния. Если допустить, что мельчайшие элементарные частицы могут свободно двигаться, то вследствие проявляющихся при соприкосновении электрических сил они должны будут притягивать друг друга“. Дэви полагает, что связь электричества с химическим сродством в достаточной мере ясна. И мы, может быть, вправе допустить, что по существу обе эти силы тождественны между собой. Этим объясняется одна, выдвигаемая Дэви задача, именно проблема „нахождения градации электрических сил тел, соответствующей степеням химического сродства“¹. Впоследствии, когда стали изучать связь между электрическим и химическим потенциалом, эта идея Дэви тоже приобрела огромное значение².

ТЕПЛОВОЕ И СВЕТОВОЕ ДЕЙСТВИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Когда исследователи увеличили число пластинок, то от них не могло остаться скрытым тепловое и световое действие гальванического электричества. Одним из первых фактов, отмеченных при замыкании и размыкании гальванического тока, было наблюдение более или менее ярких искр, испускаемых новыми приборами. Когда Дэви провел ток своей состоявшей из нескольких сот пар пластинок батареи через щелочный металл, то тепловое действие тока оказалось настолько велико, что металл расплавился. А когда тот же исследователь построил батарею из 2000 элементов, то в месте перерыва тока—особенно при пользовании угольными палочками—появился ослепительный свет в виде дуги. (Дуга эта была использована для целей освещения только в новейшее время, когда удалось найти дешевые источники электричества.) Не вполне правильно приписывать Дэви открытие электрической дуги. Искра, появляющаяся при размыкании тока, уже давно обратила на себя внимание физиков. Ее объясняли появлением оторвавшихся раскаленных металлических частиц. Чтобы получить более яркие искры, соединили один полюс с угольной палочкой. Де-ла-Рив (De-la-Rive), работая с 380 элементами, первый применил в 1820 г. две угольные палочки, получив благодаря этому слепивший глаза свет. Дэви опубликовал результаты своего опыта лишь годом позже³. И нельзя быть уверенным, что мысль применить две палочки угля пришла ему в голову независимо от де-ла-Рива.

Когда Дэви, прервав ток, исследовал угольные палочки, то он нашел, что острие палочки, соединенной с положительным полюсом,

¹ Ostwalds Klassiker, № 45, стр. 37.

² Ostwalds Klassiker, № 45, стр. 91, а также Ostwalds Geschichte der Elektrochemie, стр. 992 и сл.

³ „Philos. Transact.“, 1821.

выдолблено, противоположное же острие, наоборот, приобрело форму конуса. Таким образом произошло перемещение угольных частиц от положительного полюса к отрицательному. Это обнаружилось еще отчетливее, когда Дэви, желая помешать сгоранию перемещающихся частиц, производил свой опыт в безвоздушном пространстве.

Многие открытия Дэви оказались полезными для практической жизни. Если изобретенная им предохранительная лампа значительно уменьшила число происходящих в угольных копях несчастных случаев, то впоследствии открытый им калий стал указывать во мраке ночи потерпевшему к рушение моряку путь к спасению¹. Следует упомянуть также исследования Дэви об электропроводности. Он показал, что последняя убывает с повышением температуры и что дурные проводники легче накаляются, чем хорошие. Для большей наглядности Дэви изготовил цепь, звенья которой состояли поочередно из серебряной и платиновой проволоки. Проведя через эту цепь электрический ток и увеличивая силу его, он добивался того, что платиновые части накалялись, между тем как серебряные оставались холодными. Опыт этот часто демонстрируется еще и в настоящее время на лекциях.

С точки зрения электропроводности Дэви расположил наиболее известные металлы в следующий ряд (начиная с худшего проводника): железо, платина, олово, цинк, золото, медь, серебро. Чтобы доказать, что электропроводность зависит не от величины поверхности, а от величины поперечного сечения, он поступил следующим образом: сплющив цилиндрическую проволоку, электропроводность которой он заранее установил, он превратил ее в ленту. Хотя благодаря этому поверхность проволоки увеличилась в шесть раз, но электропроводность ее осталась неизменной. Наконец Дэви доказал еще, что электропроводность обратно пропорциональна длине проволоки.

Исключительные научные заслуги Дэви встретили всеобщее признание у его современников. Наполеон, воевавший тогда с Англией, назначил гениальному исследователю одну из тех премий, которые он установил за выдающиеся работы в области гальванического электричества. На своей родине Дэви был возведен в дворянское достоинство и избран президентом Королевского общества, во главе которого он стоял до тех пор, пока усилившееся недомогание не заставило его покинуть этот пост. Во время путешествия, предпринятого с целью поправки здоровья, его болезнь ухудшилась. Он умер в Женеве 29 мая 1829 г.²

¹ Со спасательным поясом соединял баночку, наполненную калием, который при соприкосновении с водой немедленно загорался.

² Более подробные данные о жизни Дэви имеются в очерке Кальбаума о Берцелиусе и Дэви, помещенном им в III томе "Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften", 1904, стр. 277 и сл.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Дэви принадлежат также первые наблюдения насчет взаимоотношений между гальваническими явлениями и магнетизмом. Действительно, он нашел, что получающаяся между угольными электродами световая дуга притягивается и отталкивается полюсами сильного магнита и даже может быть таким образом приведена во вращение¹. Особенно хорошо удавался этот опыт, если дугу получали в разреженном пространстве, доводя длину ее до 3—4 дюймов. Естественно возникла мысль исследовать обратное действие тока на подвижный магнит. Это было сделано датским физиком Эрстедом.

Ганс-Христиан Эрстед родился 14 августа 1777 г. в Лангеланде. Подобно своему отцу, он был сперва аптекарем; впоследствии он стал профессором физики в Копенгагенском университете. Особенно много занимался Эрстед химическими опытами. Так, он первый добыл хлористый алюминий, облегчив тем Велеру возможность получения металлического алюминия². Его исключительно важное открытие магнетизма произошло 21 июля 1820 г. Оно было плодом опытов, производившихся Эрстедом, чтобы доказать факт давно уже предполагавшихся взаимоотношений между обеими столь таинственными силами природы. Рассказ, будто его слуга случайно заметил качания магнитной иглы и обратил на это внимание Эрстеда, относится к числу научных легенд.

МАГНИТ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ТОКА

В кратком сообщении³, посланном в 1820 г. самым выдающимся физикам и обществам, Эрстед сообщает о следующих своих опытах. Он поместил прямолинейный кусок проволоки, по которой проходил

¹ „Gilberts Annalen“, т. LXXI, стр. 244, 1822.

² D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, стр. 273, 1922.

³ Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 63. Herausgegeben von I. A. V. Oettingen, Lpz., Verlag von W. Engelmann, 1895. Работа Эрстеда появилась в 1820 г. под названием „Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magnetica“ („Опыты о действии электрического тока на магнитную иглу“). Работа эта была переведена Гильбертом на немецкий язык и помещена в LXVI томе его „Летописей“. Перевод этот с незначительными стилистическими изменениями и сильно сокращенный лег в основу вышеупомянутого нового издания.

гальванический ток; в горизонтальном положении над обыкновенной магнитной иглой, так что проволока была расположена параллельно игле. Магнитная игла тогда пришла в движение, причем если северный полюс ее был обращен к отрицательному полюсу гальванического прибора, то он отклонялся к западу. Если расстояние проволоки от магнитной иглы не превышало $\frac{5}{4}$ дюйма, то отклонение это равнялось примерно 45° . С увеличением расстояния угол отклонения уменьшался. Размер отклонения зависел также от силы гальванического тока.

Природа бравшихся для опытов металлов не имела никакого влияния на результаты их. Эрстед брал с одинаковым успехом проволоки из платины, золота, серебра, латуни и железа, затем полосы из олова и свинца, а также ртуть. Проходивший через проволоку ток оказывал свое действие на магнитную иглу через стекло, металлы, дерево, воду и смолу, через глиняные сосуды и через камни. Положив между проволокой и магнитной иглой стеклянную доску, металлическую пластинку или деревянную доску, Эрстед наблюдал тот же самый эффект. Даже взятые вместе эти три вещества едва-едва ослабляли действие тока. То же самое наблюдалось в случае глиняного сосуда, даже наполненного водой. Описанные явления имели место и тогда, когда Эрстед брал магнитную иглу, находившуюся в латунной коробке, наполненной водой.

Если проводник помещали в горизонтальной плоскости под магнитной иглой, то указанное отклонение происходило в обратном направлении. Если Эрстед поворачивал проводник в горизонтальной плоскости, так что он образовывал все большие углы с магнитным меридианом, то отклонение магнитной иглы от магнитного меридиана увеличивалось, если вращение проволоки было направлено в сторону магнитной иглы, и, наоборот, убывало, если вращение было направлено в сторону от нее. Исходя из этого, Пуье (Pouillet) построил в 1837 г. для измерения силы тока особый прибор — синус-буссоль. При пользовании этим аппаратом проводник вращают до тех пор, пока он снова не очутится в одной плоскости с магнитной иглой. Сила тока пропорциональна синусу угла вращения.

Из своих опытов Эрстед сделал тот вывод, что ток „не заключен в проволоке, а одновременно распространяется в окружающем ее пространстве“¹.

Продолжая работы Эрстеда, Швейгер (Schweigger) и Поггендорф (Poggendorf) построили один из важнейших электрических измерительных приборов — мультимпликатор. Уже осенью 1820 г. Швейгер подвергнул магнитную иглу действию согнутой в несколько раз проволоки. В то время как простая проволока отклоняла иглу примерно на 30° , в отверстии l тройной петли (рис. 42) она отклонялась на 90° . Если иглу помещали в другое отверстие, то

¹ В 1920 г. в память 21 июля 1820 г., т. е. того дня, когда Эрстед открыл электромагнитные явления, вышло монументальное издание трудов Эрстеда (3 тома) и его писем (2 тома), предпринятое Королевским датским научным обществом.

вследствие перемены направления тока она отклонялась в противоположную сторону.

Поггендорф построил свой мультипликатор, свернув в круговые витки обмотанную шелком проволоку. Получившийся таким образом пакет из 40—50 витков сжимали до тех пор, пока игла еще могла свободно двигаться в оставшемся отверстии. Чувствительность прибора возрастала до некоторого максимума вместе с числом витков.

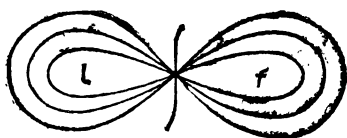


Рис. 42. Мультипликатор Швейгера.

Известие об открытии Эрстеда вызвало огромный интерес к себе во всем научном мире. Предпринятая повсюду, проверка опытов Эрстеда подтвердила результаты их и привела к новым открытиям. Так, Гей-Люссак нашел, что ток не только отклоняет магнит, но и превращает в магнит не магнитную

до того стальную иглу. Это намагничивающее действие тока обнаружилось с особенной силой тогда, когда иглу поместили в спиралевидную проволоку, по которой протекал гальванический ток. Это навело Гей-Люссака на мысль рассматривать сам проводник, в котором движется ток, как магнит. В связи с этим он открыл притяжение, оказываемое проводником на железные опилки. То же открытие сделал независимо от Гей-Люссака немецкий физик Зеебек (Seebeck).

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Продолжением работы Эрстеда занимался в особенности Зеебек. Уже в год сделанного Эрстедом открытия и в следующий за этим 1821 г. Зеебек выпустил свои опыты „Über den Magnetismus der galvanischen Kette“ („О магнетизме гальванической цепи“) ¹.

Томас-Иоганн Зеебек, главной научной заслугой которого было открытие термоэлектричества (речь об этом будет ниже), родился 9 апреля 1770 г. в Ревеле, где отец его был купцом. Зеебек изучал медицину и с 1802 до 1810 г. проживал в Иене, где, между прочим, находился в научном общении с Гете. Выбранный членом Прусской академии наук, Зеебек переселился в Берлин. Он умер 10 декабря 1831 г.

В работе Зеебека „О магнетизме гальванической цепи“ подробно описываются магнитные явления, обнаруживающиеся в окрестности проводника, через который проходит ток. Существование магнитного поля, или, как выражался Зеебек, „магнитной атмосферы“, доказывалось главным образом при помощи приобретенных впоследствии такую известность опытов с железными опилками; для наглядного представления поля Зеебек пользовался, как это впоследствии делал и Фарадей, силовыми линиями.

¹ Ostwalds Klassiker, № 63, стр. 9 и сл.

Зеебек показал, как это поясняет его приложенный ниже рисунок (рис. 43), что вокруг вертикальных проволок, через которые проходит ток, железные опилки располагаются правильным образом. Он нашел, что опилки располагаются концентрическими кругами, диаметр которых тем больше, чем сильнее напряжение тока. Если же проводники шли в горизонтальном направлении, то над ними и под ними опилки располагались параллельными линиями, перпендикулярными к продольному направлению проводников. Эти фигуры из опилок образовывались легче всего вокруг стержней в несколько линий диаметром; в случае же тонких проволок картина была менее отчетливой.

Тот же Зеебек первый доказал, что силовые линии какого-нибудь проводника испытывают влияние со стороны соседних проводников. Для доказательства этого он пользовался двумя стальными

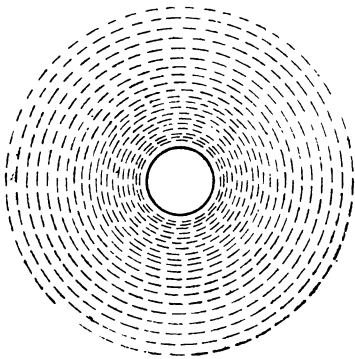


Рис. 43. Доказательство существования магнитного поля.

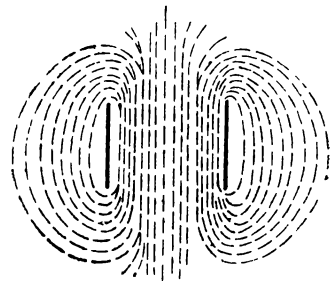


Рис. 44. Доказательство существования магнитных силовых линий.

лентами, через которые протекал ток. На приложенном здесь рисунке, составленном по чертежу Зеебека, диаметр этих лент изображен двумя толстыми чертами¹. При своем опыте Зеебек изгибал длинную стальную ленту и пропускал через получившиеся два параллельные колена дуги ток. Если колена этой дуги находились на значительном расстоянии друг от друга, то железные опилки располагались вокруг каждого из них кругами; если же колена были близки друг к другу, то „магнитные линии“ принимали такой вид, какой изображен на рис. 44.

Зеебек наблюдал также почти одновременно с французским физиком Араго, которому принадлежит, однако, первенство открытия, некоторые явления, не укладывавшиеся на первых порах в рамки известных до того фактов. Явления эти были объяснены только в новую эпоху учения об электричестве, созданную фарадеевским открытием индукции. Мы имеем в виду процессы, для обозначения которых стали впоследствии употреблять термин „затухание“. В 1825 г.

¹ Надо представить, что стальные ленты перпендикулярны к плоскости чертежа.

Зеебек опубликовал работу, в которой теорема о затухании была сформулирована следующим образом:

1. Качания магнитного стержня испытывают со стороны соседних металлических масс такое же торможение, как если бы стержень был окружен особой более плотной атмосферой.

2. Если медная масса качается над полюсами магнита или между ними, то амплитуда качаний ее уменьшается скорее, чем в случае свободно качающейся медной массы.

Опыты Зеебека о разветвлении тока принадлежат также к первым исследованиям в этой области.

Согласно принципам ньютоновой механики, открытому Эрстедом действию тока на магнит должно было отвечать равное противодействие магнита на ток. Исходя из этой мысли, французский физик Ампер (Ampère) пытался установить связь между электричеством и магнетизмом.

Андре-Мари Ампер родился 20 января 1775 г. в Лионе, где отец его был купцом. Уже в раннем возрасте Ампер обнаружил совершенно исключительные математические и естественнонаучные способности. Одиннадцати лет от роду он уже вполне владел элементарной математикой, а в 12 лет познакомился с дифференциальным исчислением. Впоследствии он углубился в изучение творений Лагранжа, Эйлера и Бернулли.

Это столь многообещающее научное развитие было прервано в связи со смертью отца, казненного во время французской революции. Событие это произвело на молодого Ампера такое гнетущее впечатление, что он провел целый год в полной прострации. Лишь когда в его руки попали письма Руссо о ботанике¹, в нем воскрес интерес к науке.

В 1802 г. Ампер опубликовал исследование о математической теории игр. Работа эта обратила на него внимание великого астронома и геодезиста Деламбра (Delambre). В результате этого Ампера пригласили сперва преподавателем математики в лионский лицей, а затем (1805 г.) в Политехническую школу в Париж, где он читал лекции по дифференциальному и интегральному исчислению. Одновременно с этим он занимался проблемами естествознания и философии.

Открытие Эрстедом действия тока на магнит вызвало у Ампера желание заняться основательно и почти исключительно исследованием электрических явлений. Осенью 1820 г., вскоре после получения известия об открытии Эрстеда, Ампер проверил его опыты. А неделю спустя он мог уже выступить с собственными важными открытиями, которые он опубликовал в том же году в своей знаменитой работе, легшей в основу электродинамики².

В этой работе Ампер ввел важное, с тех пор всеми принятое соглашение считать направлением тока направление

¹ Письма Ж. Ж. Руссо о начатках ботаники. Они заинтересовали также з высшей степени Гете. Немецкий перевод их, сделанный М. Мебиусом (Möbius), вышел в 1903 г. в Лейпциге в издательстве И. Барта.

² „Annales de Chimie et de Physique“, XV, 1820, стр. 59 и 170.

движения положительного электричества. Затем в ней дано его известное правило, по которому на основании отклонения магнитной иглы можно без труда определить направление тока. Правило это гласит: „Если мысленно встать по направлению тока так, чтобы он проходил от ног наблюдателя к голове его и чтобы лицо его было обращено к магнитной игле, то под влиянием тока северный полюс магнитной стрелки постоянно будет отклоняться налево“¹ (амперово правило пловца).

ОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Чтобы исследовать действие магнита на ток, Ампер пришел к мысли сделать проводники подвижными. Способ устройства такого подвижного проводника изображен на рис. 45, заимствованном нами из опубликованного Ампером и Бабином (Babinet) в 1822 г. отчета об открытиях Ампера². Этим же отчетом мы пользуемся для ниже следующего изложения полученных Ампером результатов. Чтобы сделать проводник легко подвижным, Ампер (рис. 45 и 46) придал ему форму квадрата или прямоугольника (DFGM). К обоим концам проволоки, перпендикулярно к ней, в местах A и B были припаяны стальные острия. Острия эти были погружены в расположенные около A и B чашечки, содержавшие некоторое количество ртути.

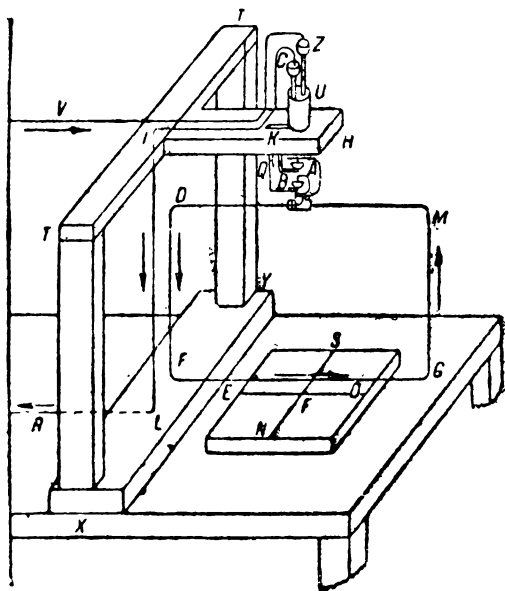


Рис. 45. Подвижной проводник Ампера³.

Ток вступал в капсулю Z, соединенную с положительным полюсом батареи, протекал согнутый ствол ZA и попадал в чашечку A,

¹ „Annales“, XV, стр. 67: Si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il s'oit dirigé des pieds à la tête de l'observateur, et que celui-ci ait la face tournée vers l'aiguille; c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige vers le nord.

² В немецком переводе издан в 1822 г. Леопольдом Фоссом (Voss) в Лейпциге. -

³ Ampère u. Babinet, табл. I, фиг. 3.

в которой через посредство ртути получалось соединение с подвижным проводником, по которому ток шел затем по направлению *ADFGMB*. В чашечке *B*, наполненной ртутью, ток покидал подвижный проводник и через второй согнутый ствол *Q* попадал в капсулю *C*, соединенную с отрицательным полюсом батареи.

С помощью этого остроумного приспособления Ампер доказал следующее: если заставлять действовать магнит на подвижный проводник, то последний после нескольких колебаний приходит в покой в положении, при котором он перпендикулярен к линии полюсов. При этом Ампер заметил, что после того как проводник приходит в состояние покоя, южный полюс магнита всегда находится по левую сторону от тока.

Ампер показал вслед затем, что, если на проводник действует только земной магнетизм, то он занимает такое положение, при котором его плоскость перпендикулярна к плоскости магнитного меридиана². Это открытие вызвало такой шум, как редко какое другое³. Ампер описывает его в следующих выражениях: „Если подвесить подвижный проводник так, как это изображено на рис. 45, причем вблизи него не имеется другой части, включенной в ток (иначе говоря, мы должны представить себе, что на рис. 45 нет куска проволоки *CILR*, который оказывает влияние на подвижный проводник), и если затем соединить капсулю *C* и *Z* с полюсами гальванической батареи, то подвижный проводник начнет

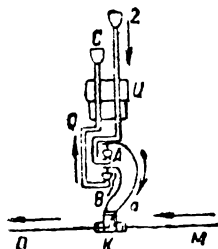


Рис. 46. Приспособление Ампера для подвешивания его подвижного проводника¹.

вращаться, пока плоскость его не станет перпендикулярной к плоскости магнитного меридиана *NS*, а ток в нижней части его, т. е. в *FG*, не станет идти с востока на запад, так что южный конец магнитной иглы окажется расположенным налево“. Если Ампер пропускал ток в обратном направлении через подвижный проводник, то последний поворачивался на половину окружности, пока, наконец, после нескольких колебаний не устанавливался снова в направлении, перпендикулярном к *NS*.

При помощи прибора, изображенного на рис. 47⁴, Ампер получил явления, соответствующие наклонению магнитной иглы. Согнутый в виде прямоугольника, проводник *ABCDEF*, которому деревянная планка *VIZ* мешала сгибаться, был расположен так, что он мог вращаться вокруг горизонтальной оси *XV*. Части проводника были так выправлены, что при каждом положении его имело место

¹ Ampère u. Babinet, табл. I, фиг. 2.

² Ampère, „Annales de chimie et de physique“, XV, стр. 188 и сл.

³ См. Heller, Gesch. d. Physik, II, стр. 609.

⁴ Ampère u. Babinet, табл. I, фиг. 12. В Немецком музее в Мюнхене имеются части приборов Ампера, изготовленных под личным его наблюдением,

равновесие. Затем ось *XV* устанавливали перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана, а через прямоугольник пускали ток. Прямоугольник начинал двигаться, но под конец принимал положение равновесия, при котором плоскость его была перпендикулярна к направлению наклона магнитной иглы.

Может быть, еще замечательнее этих фактов было сделанное Ампером вскоре после исследования Эрстеда открытие, что два гальванических тока притягивают или отталкивают друг друга в зависимости от того, направлены ли они одинаковым или противоположным образом.

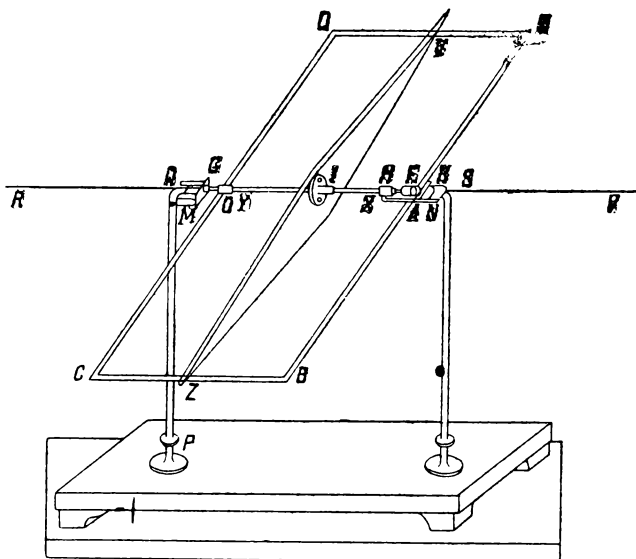


Рис. 47. Прибор Ампера для доказательства того, что проводник устанавливается в направлении, перпендикулярном к плоскости магнитной иглы.

Если в предыдущих опытах подвижный проводник приводился в движение магнитом или же земным магнетизмом, то теперь он приводился в движение расположенным поблизости током. На рис. 45 изображено требовавшееся для доказательства этого явления расположение опыта. После того как ток обошел прямоугольный подвижный проводник, он отводился из *C* через *IL* параллельно стороне *DF*. Таким образом через параллельные металлические проволоки *IL* и *DF* проходили одинаково направленные электрические токи. Оказалось, что между ними действует сила притяжения, ибо подвижный проводник поворачивался до тех пор, пока сторона *DF* не приблизилась максимально к куску проволоки *IL*. Если подвижный проводник поворачивали на 180°, так что кусок проволоки *MG*, в котором ток течет снизу вверх, находился против

части проводника IL , в которой ток течет в противоположном направлении, то между ними имело место отталкивание.

Открытый Ампером основной закон электродинамики гласит вкратце следующее: Два параллельных и одинаково направленных тока взаимно притягиваются, между тем как два параллельных и противоположно направленных тока взаимно отталкиваются.

Появляющиеся в первом случае силы притяжения оказались столь значительными, что, когда привели между собой в соприкосновение два куска проволоки, в которых протекал одинаково направленный ток, то они плотно пристали друг к другу.

Амперу первоначально возражали, что дело здесь идет о давно известных явлениях притяжения и отталкивания наэлектризованных тел, но Амперу нетрудно было опровергнуть это возражение простым указанием на то, что наэлектризованные противоположным образом тела притягиваются, между тем как проводники, в которых ток направлен одинаковым образом, отталкиваются.

Если обозреть великие открытия Ампера, изложенные нами в предыдущем со всей возможной краткостью, с опущением многочисленных второстепенных результатов, то следует признать, что мы имеем перед собой ряд остроумных, логически связанных и основоположных экспериментов, равные каким можно редко встретить до Ампера и после него. Поэтому с полным правом называют фундаментальными исследования Ампера о связи между электрическими и магнитными явлениями одним из самых выдающихся образцов научной работы ¹.

После экспериментального исследования основных электродинамических явлений оставалось найти математическое выражение для господствующих в них количественных отношений, подобно тому как Кулон это сделал для области статического электричества. Задачу эту Ампер решил с помощью аналитических выкладок. При этом он исходил из двух маленьких, расположенных любым образом в пространстве элементов тока, длину которых он обозначил соответственно через ds и ds' , а интенсивности тока через i и i' . Далее Ампер предположил, что сила притяжения или отталкивания пропорциональна длине и интенсивности элементов тока.

Расстояние между элементами тока Ампер обозначил через r , предположив, что притяжение или отталкивание обратно пропорционально r или какой-нибудь степени r . Дальнейшее исследование показало, что речь могла идти лишь о второй степени r . Таким образом первое выражение для искомого Ампером основного электродинамического закона ² силы, действующей между двумя элементами тока, гласило:

$$w = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^2}.$$

¹ Heller, *Gesch. d. Physik*, II, стр. 609.

² Ampère, *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques déduite uniquement de l'expérience*, „*Ann. d. Chim. et de Phys.*“, т. 20, стр. 60.

При этом предполагалось, что элементы тока направлены параллельно. Для элементов тока, направленных произвольным образом, основной электродинамический закон силы взаимодействия элементов, направленной по линии, соединяющей середины их, гласил:

$$w = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^2} \left(r \frac{d^2r}{ds \cdot ds'} - \frac{1}{2} \frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr'}{ds'} \right)$$

Развивая этот найденный Ампером закон, Вебер, как мы увидим впоследствии, нашел самое общее выражение основного электродинамического закона. Что касается способа вывода закона Ампера, то по этому вопросу приходится отослать читателя к оригинальным работам Ампера или к какому-нибудь руководству по физике¹.

Мы видели, к какой массе новых наблюдений и результатов привела Ампера остроумная идея придать проводнику форму легко подвижного прямоугольника. Отсюда недалеко было до крайне плодотворной мысли заменить прямоугольный или кругообразный проводник, допуская только один виток, многократно завитым подвижным проводником, винтообразным проводником, или, как выражался Ампер, соленоидом.

УСПЕХИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА

На основании открытых им взаимоотношений между электричеством и магнетизмом Ампер выдвинул теорию, что частицы магнита обтекаются гальваническими токами и что намагничивание представляет не что иное, как приведение в параллельное положение этих молекулярных токов. Амперов соленоид — вышеуказанная подвижная проволочная спираль, по которой протекает ток, — представляет модель магнита, соответствующую этой концепции. Согласно открытому Ампером закону соленоид устанавливается таким образом, что ось его совпадает с плоскостью магнитного меридиана.

Чтобы изучить дальнейшие явления, обнаруживаемые соленоидом, надо было элиминировать действие земного магнетизма. Этого Ампер добился при помощи особого расположения опыта, переданного на рис. 48. Проводник *ABCDEF* представляет собой одну единствен-

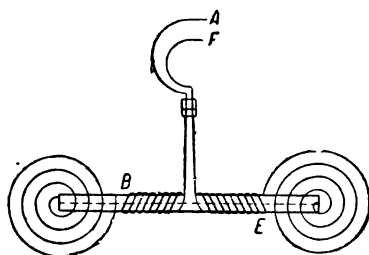


Рис. 48. Соленоид Ампера, освобожденный от влияния земного магнетизма².

¹ Wüllner, Lehrbuch d. exper. Phys., IV, стр. 673 ж сл.

² Ampère u. Babinet, табл. II, фиг. 29.

ную проволоку, концы A и F которой могут быть помещены в вышеописанное амперово приспособление для подвешивания подвижного проводника. От A проведена проволока к середине трубки и затем навита вокруг последней налево. После некоторых более крупных витков проволока проводится обратно через трубку к правому концу E , а отсюда идущими в обратном направлении витками к середине и, наконец, к F . Благодаря такому расположению витков сила земного магнетизма пытается повернуть подобный соленоид в противоположных направлениях, вследствие чего он остается в неподвижном состоянии.

Этот соленоид вел себя по отношению к магниту точно так, как другой магнит. Если один какой-нибудь полюс магнита приближался последовательно к обоим концам соленоида, то один конец последнего он притягивал, а другой отталкивал. Если соленоид закрепляли и приближали к нему подвижный магнит, то точно так же имело место притяжение и отталкивание.

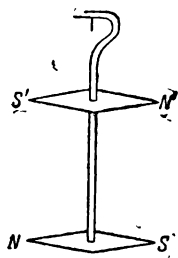


Рис. 49. Астатическая магнитная игла Ампера ¹.

Опыты с двумя соленоидами показали, что полюсы их, в соответствии с электродинамическими законами, отталкивают или притягивают друг друга в зависимости от того, протекает ли ток в находящихся друг против друга концах соленоидов в противоположном направлении или в одинаковом. Ток, проходивший через расположенную поблизости проволоку, отклонял такой соленоид по установленному Ампером правилу пловца. Словом, соленоид вел себя во всех отношениях, как настоящий магнит, подтверждая таким образом теорию Ампера.

Подобно тому как Ампер при устройстве своих соленоидов сумел элиминировать влияние земного магнетизма (см. рис. 48), так же ему удалось при помощи аналогичного остроумного приспособления довести размеры этой силы у магнитной иглы до ничтожной величины и сообщить таким образом игле крайнюю чувствительность по отношению к электрическому току. Для этого Ампер соединил (как показывает рис. 49, заимствованный из его сочинения) две одинаковых и имеющих приблизительно одинаковую силу магнитные иглы таким образом, что одноименные полюсы их были направлены в противоположные стороны. Благодаря этому действие силы земного магнетизма на одну иглу почти уничтожалось противоположным действием этой же силы на другую иглу ².

Если причина магнетизма заключается, как предполагал Ампер, в электрических токах, обтекающих магнит перпендикулярно к магнитной оси, то такова же должна быть и причина земного магнетизма. Поэтому Ампер предположил, что существует ток электричества вокруг Земли. Из поведения соленоидов по отношению

¹ Ampère u. Babinet, табл. II, фиг. 14.

² „Ann. de Chim. et de Phys.“, т. 18, стр. 320—322, 1821.

к земному магнетизму следовало заключить, что этот ток направлен с востока на запад и таким образом противоположен вращению Земли. Ампер не сомневался в том, что земной ток электричества, а, следовательно, и земной магнетизм связан с этим вращательным движением Земли и вызываемым им переменным согреванием земных полушарий Солнцем. Так как два тела, состоящие из одного и того же вещества, при неодинаковом нагревании действуют друг на друга гальваническим образом, то весьма вероятно, что источником электрических токов земного шара является нагревание последнего Солнцем¹. К аналогичным результатам пришел и Зеебек, которому принадлежит честь открытия термоэлектричества. Для объяснения земного электрического тока Ампер принимал во внимание, кроме нагревания земного шара Солнцем, также гальваническое действие различных веществ, из которых состоит Земля.

ОТКРЫТИЯ АРАГО

В то самое время, когда Ампер производил свои гениальные исследования, в учении об электромагнетизме сделал ряд открытий Араго.

Доминик Франсуа Жан Араго, один из многостороннейших французских ученых, родился 26 февраля 1786 г. под Перпиньяном. Окончив учение в Париже, он стал профессором математики и геодезии в тамошней Политехнической школе и издавал вместе с Гей-Люссаком „*Annales de Chimie et de Physique*“. Он умер в Париже 22 октября 1853 г.

Араго сделал ряд выдающихся открытий в астрономии, оптике и электромагнетизме. Так, ему принадлежит метод придания стальным иглам магнетизма на длительный срок: для этого их закручивают в катушку, по проволочным спиралам которой протекает ток (соленоид). В дальнейшем Араго показал, что для такого намагничивания стальной иглы не требуется вовсе длительного действия гальванического тока, а достаточно однократного мгновенного разряда лейденской банки.

Приблизив к концу замыкающей проволоки гальванической батареи железные опилки, Араго открыл новое электромагнитное явление, заключавшееся в том, что проволока притягивала опилки. Эти наблюдения привели его к теории (выдвинутой и Зеебеком)², что проводник, по которому течет ток, представляет собой магнит. Свои важнейшие открытия о намагничивающем действии тока, сделанные отчасти в сотрудничестве с Гей-Люссаком, Араго опубликовал в 1820 г.³

Несколько лет спустя Араго открыл замечательное, на первых порах совершенно загадочное явление, названное им вращательным

¹ Ampère u. Babinet, стр. 115, 1822.

² См. стр. 204 настоящего тома.

³ „Ann. de Chim. et de Phys.“, XV, стр. 93 и 110.

магнетизмом. Он нашел, что качающаяся магнитная игла, расположенная над металлической поверхностью, приходит гораздо скорее в состояние покоя, чем если она находится над непроводником (как например стекло или мрамор). Если магнитная игла находилась в покое и если Араго начинал затем вращать металлический диск, то игла отклонялась в направлении вращения диска. Под конец иглу можно было привести таким образом во вращательное движение. Араго нашел также, что, в зависимости от положения магнита он то притягивается, то отталкивается вращающимся диском¹. Эти опыты Араго оставались непонятными до тех пор, пока Фарадей не сделал их исходным пунктом своих исследований явлений электрической индукции².

¹ „Ann. de Chim. et de Phys.“, т. 27, стр. 363, 1824.

² Об этом см. ниже.



ОТКРЫТИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Едва успели ученые освоиться с главнейшими явлениями электрического тока, как стал уже известен новый вид получения электричества. Почти в то самое время, когда Эрстед и Ампер производили свои основоположные опыты, немецкий физик Зеебек показал возможность получения электрического тока путем неравномерного нагревания цепи, состоявшей из различных металлов. Зеебек¹ заинтересовался вопросом, могут ли дать ток два металла сами по себе, без действия влажного проводника. Когда Зеебек положил висмутный диск (рис. 50, *B*) непосредственно на медной диск *K* и поместил оба диска между концами *ab* расположенной в плоскости магнитного меридиана спиралевидной медной полосы, то находившаяся в спирали магнитная игла *pn* обнаружила

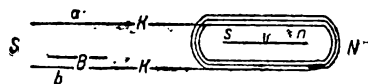


Рис. 50. Открытие термоэлектричества.

при замыкании цепи заметное отклонение. Это показывало, что при данных условиях произошел электрический разряд. Эффект был особенно силен, когда замыкание совершалось непосредственно с помощью руки. Наоборот, он не наблюдался, если при этом пользовались стеклянной палочкой или продолговатым деревянным бруском. Но слабое действие все еще обнаруживалось, когда пользовались тонкими телами². С другой стороны, не наблюдалось никакого действия на магнитную иглу, когда Зеебек прижимал концы спирали к висмутному диску при помощи стеклянной, деревянной или металлической палки длиной в 2 фута. Наблюдения эти невольно наводили на мысль, что причиной электрического разряда, обнаруживающегося в виде отклонения магнитной иглы, является теплота, сообщаемая рукой месту прикосновения. В соответствии с этим можно было ожидать, что в случае большего нагревания, чем то,

¹ Томас-Иоганн Зеебек родился в 1770 г. в Ревеле. В 1818 г. он стал членом Академии наук в Берлине, где и умер в 1831 г.

² Th. I. Seebeck, Magnetische Polarization der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz. См. остальдовскую серию классиков точного знания, № 70, стр. 8 и сл. Работа Зеебека появилась сперва в „Отчетах“ Берлинской академии наук за 1822—1823 гг. Открытие термоэлектричества произошло в 1822 г.

которое сообщается металлу путем прикосновения руки, можно вызвать и больший эффект.

Искусственное охлаждение одной из двух точек соприкосновения давало аналогичный результат. Когда соединили висмутый стержень, один конец которого был погружен в охлаждающую смесь из соли и снега, а другой обладал обыкновенной температурой, с медной спиралью, то наблюдались те же явления, какие наблюдались бы при неравномерном нагревании обоих концов. При замыкании цепи магнитная игла отклонилась на 30° .

Действие этих металлических цепей сказывалось тем сильнее, чем больше была температурная разница в точках соприкосновения различных металлов. Если между обоими металлами, например между сурьмой и медью, в *a* (рис. 51) вкладывали лист бумаги или

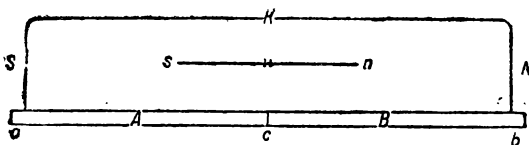


Рис. 51. Термоэлемент Зеебека.

кожу, между тем как точка прикосновения *b* согревалась спиртовой лампочкой, то магнитная игла *ns* оставалась совершенно спокойной. Таким образом существенным условием для получения электричества при помощи разницы в

температуре оказывалось непосредственное соприкосновение между собой металлов. Чем более полным было это соприкосновение в опытах Зеебека, тем значительнее был его эффект. Приборы, в которых стержни из сурьмы и висмута были спаяны между собой, показывали при одинаковой разнице в температуре гораздо более сильное отклонение магнитной иглы, чем приборы, в которых имело место лишь поверхностное соприкосновение между собой металлов.

На примере открытия термоэлектричества повторилось то, что наблюдалось и в случае других открытий, значение которых обыкновенно на первых порах переоценивается. Так, Зеебек считал возможным объяснить земной магнетизм неравномерным нагреванием земного шара вулканической теплотой. Практическое применение термоэлементы нашли в двух направлениях: во-первых, в качестве источников электрического тока, а во-вторых, в качестве приборов для измерения температуры.

Так как существенным условием для удачи опыта являлось тесное соприкосновение металлов наряду с наличием разницы температуры, то Зеебек стал спаивать свои стержни; таким образом был изготовлен первый термоэлемент. Хотя такой элемент на первых порах и неспособен был давать достаточно сильный ток, но в 1834 г. благодаря Nobili (Nobili), соединившему несколько таких элементов в термоэлектрический столб, он стал инструментом, очень пригодным для обнаруживания малейших различий в температуре и для измерения их по отклонениям чувствительного гальванометра. Чтобы построить этот инструмент, Nobili соединил по примеру Ампера две магнитные иглы, почти одинаковой магнитной си-

лы, в астатическую стрелку¹. При помощи этой комбинации обоих приборов, известной под именем термомультипликатора, Меллони (Melloni) впоследствии произвел свои опыты над тепловым излучением². Так, для измерения теплоты какого-нибудь тела стали (примерно с 1840 г.) пользоваться термоэлементом из тяжелых плавких металлов — обыкновенно железа и нейзильбера, — место спайки которых вводили в испытываемое тело.

Другого практического применения термических токов добивался уже Зеебек, пытавшийся построить из нескольких соединенных между собой элементов термоэлектрический столб. Но он нашел, что интенсивность полученного таким образом тока не пропорциональна количеству нагревавшихся мест соприкосновения. Повидимому, часть тока пропадала. С тех пор были построены многочисленные типы термоэлектрических столбов, так например столб Ноэ (Noë) из проволоки из нейзильбера и стержней из сплава цинка с сурьмой, а также недавно предложенный столб Гюльхера (Gülcher), пользовавшегося сурьмой и медью³. Однако все придуманные таким образом приборы оказались непригодными для получения сильных токов. Перед гальваническими элементами они имеют лишь то преимущество, что ими легче манипулировать и что они более постоянны.

Обозревая еще раз содержание последних глав этой книги, мы убеждаемся, что к началу 20-х годов XIX в. были уже установлены самые существенные отделы учения об электричестве, за исключением явлений индукции. Открытие последних явилось плодом несравненного экспериментаторского искусства Фарадея, основоположными работами которого мы займемся в следующем томе.

¹ Nobili, Sur un nouveau galvanomètre (Bibl. univ., XXV, 1824). Леопольдо Нобили родился в 1784 г. недалеко от Реджо. Он был профессором физики в великогерцогском музее во Флоренции, в которой и умер в 1835 г.

² Melloni, La Thermochrôse ou la Coloration calorifique, Неаполь 1850. Манчедонио Меллони родился в 1798 г. в Парме, где был профессором физики. После этого он жил в Париже, а под конец был руководителем обсерватории на Везувии. Меллони умер в 1854 г.

³ В Немецком музее в Мюнхене (зала 24) можно проследить развитие термоэлектрических приборов, начиная со времен Зеебека. В этой коллекции имеются также термоэлектрические столбы Ноэ и Гюльхера.



РАСЦВЕТ АСТРОНОМИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАБОТ ЛАПЛАСА И ГЕРШЕЛЯ

На рубеже XVIII и XIX вв. астрономия не испытала такого коренного преобразования, какое мы наблюдаем в химии и физике, где были открыты целые новые области исследования. Благодаря работам исследователей XVII и XVIII вв. система астрономии была настолько завершена, что в дальнейшем речь могла идти по существу лишь о разработке отдельных частных вопросов, а впоследствии о применении к космическим явлениям данных физики и химии.

Главными представителями астрономии в конце XVIII в. и к началу XIX в. были Лаплас и Гершель. В то время как первый в своих исследованиях ограничивался преимущественно планетной системой, умножая здесь наследие Ньютона, Гершель, как однажды выразился Гумбольдт, впервые запустил лот в глубины неба. Гершель, как мы увидим далее, был подлинным основателем астрономии неподвижных звезд.

Пьер-Симон Лаплас родился 28 марта 1749 г. в небольшом городке Нормандии¹ в семье одного бедного крестьянина. Исключительные дарования Лапласа видны уже из того, что, не достигнув еще 20-летнего возраста, он опубликовал ряд работ из области интегрального исчисления, создавших ему славу выдающегося математика.

Благодаря этому Лаплас был назначен преподавателем математики сперва в своем родном городке, а впоследствии в Военной школе в Париже. С тех пор Лаплас посвятил свое необыкновенное математическое дарование преимущественно проблемам теоретической астрономии, которая только благодаря его исследованиям сумела дать удовлетворительное объяснение наблюдающихся в нашей планетной системе вековых изменений.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ

В то время как некоторые астрономы для объяснения ряда явлений, наблюдаемых в движении планет, склонялись к мысли о лишь приближенном значении ньютонова закона тяготения, Лаплас,

¹ Бомон (Beaumont en Auge).

опираясь на работы Эйлера, доказал, что с точки зрения проблемы трех тел эти кажущиеся исключения из правила лишь подтверждают его. Сам Ньютон исследовал только задачу движения одной планеты вокруг Солнца и показал, что оно должно происходить по одному из конических сечений. На очередь дня проблема трех тел стала при рассмотрении вращения Луны вокруг Земли, когда пришлось учесть влияние Солнца, чтобы добиться согласия между теорией и наблюдением. Вопросами этими занимался уже Эйлер, пришедший здесь к теоретическим результатам, которые легли в основу лунных таблиц, составленных Тобиасом Майером¹. Главная заслуга Лапласа заключалась в том, что он распространил проблему трех тел на планеты и кометы и создал теорию возмущений, т. е. отклонений от эллиптической орбиты, испытываемых этими небесными телами под влиянием их взаимного притяжения. Однако Лаплас не мог дать строгого решения проблемы трех тел, превосходящей еще и в настоящее время силы высшего анализа.

В одной из своих самых ранних работ по теоретической астрономии Лаплас доказал важную теорему, что хотя расстояния планет от Солнца подвержены переменам, однако в среднем они остаются постоянными. Вскоре после этого 24-летний Лаплас был выбран членом Академии наук. Получив профессию в *Ecole normale*, он принял самое деятельное участие в великих задачах, занимавших тогда, несмотря на все политические бури, французский народ. Так, Лаплас был членом комиссии мер и весов, выбранной из числа академиков. Комиссия эта получила от Национального собрания в 1790 г. поручение создать основу для новой системы мер и весов. Лаплас воспротивился попыткам остановиться на предлагавшемся уже Гюйгенсом секундном маятнике. Лаплас, добивавшийся, очевидно, нового градусного измерения, побудил комиссию принять за исходный пункт четверть меридиана. Поэтому Академия предложила в 1791 г. принять за единицу меры десятимилионную часть меридиана под названием метра.

Под руководством Лапласа была преобразована Политехническая школа, эта знаменитейшая лаборатория французской научной и технической мысли. Наполеон назначил даже высоко ценившегося им Лапласа министром внутренних дел и возвел его в графское достоинство. И после реставрации Лаплас был осыпан почестями. Он умер 5 марта 1827 г. со словами: „То, что мы знаем, ничтожно мало, а то, чего мы не знаем, необъятно велико“.

Сочинения этого величайшего французского астронома были впоследствии изданы на государственный счет². Первые пять томов этого издания содержат главное произведение Лапласа „Небесная механика“, выходящее с 1799 г. до 1825 г. Один выдающийся историк астрономии называет это произведение „бесконечно расширенным и увеличенным изданием“ „Начал“ Ньютона. Выведя из закона тяготения общие уравнения движения небесных тел, Лаплас развивает

¹ См. т. 2 настоящего сочинения.

² Согласно закону от 1842 г. Laplace, *Oeuvres complètes*, 7 томов, 1843—1848.

затем в этом сочинении свою вышеупомянутую теорию возмущений. Основу для его теоретических исследований ему дали при этом, во-первых, наблюдения над крупными планетами Сатурном и Юпитером, неравенства которых он свел к влиянию этих тел друг на друга, а затем наблюдения над спутниками Юпитера.

Так как спутники Юпитера вместе с своей центральной планетой образуют систему, весьма сходную с нашей планетной системой, причем, однако, их обращения вокруг Юпитера происходят в сравнительно короткий срок, то на них Лаплас мог за короткий промежуток времени изучить все те крупные изменения, которые происходят в планетной системе на протяжении веков. В то время как Ньютон еще склонялся к мысли приписать наблюдающуюся в солнечной системе, несмотря на все взаимные возмущающие влияния, устойчивость действию сверхъестественной силы, Лаплас сумел вывести эту устойчивость из закона тяготения и таким образом окончательно решить проблему небесной механики¹.

Лаплас, далее, довел до известного завершения проблему приливов и отливов, первая теория которых, во многих отношениях не согласовавшаяся еще с фактами, была создана Ньютоном. При этом в распоряжении Лапласа находился великолепный материал в виде охватывавших ряд лет ежедневных наблюдений, производившихся по настоянию Академии наук во всех французских гаванях, особенно в Бресте. Материал этот Лаплас обработал при помощи не развитых в эпоху Ньютона принципов гидродинамики. Ему удалось найти линии одновременного наступления приливов, так называемые изорахии. Однако более или менее удовлетворительная теория приливов была создана только совокупными усилиями многочисленных наблюдателей и теоретиков нового и новейшего времени.

КАНТО-ЛАПЛАСОВСКАЯ ГИПОТЕЗА

За несколько лет до появления „небесной механики“ Лаплас попытался изложить результаты астрономической науки в общедоступной форме. Так возникло его „Изложение системы мира“—книга, в которой он, между прочим, развил свои взгляды на происхождение мира из хаотической первичной туманности. В этой книге Лаплас показывает сперва, что, хотя планеты солнечной системы самостоятельны, однако они обнаруживают весьма замечательные взаимоотношения, которые могут послужить ариадниной нитью для объяснения происхождения этой системы. Действительно, было замечено, что все планеты обращаются вокруг Солнца почти в одной и той же плоскости с запада на восток. Далее, спутники обращаются вокруг планет в том же направлении и почти в той же самой плоскости. Наконец, Солнце, планеты и спутники вращаются вокруг своих осей в одном и том же направлении и притом почти в той

¹ Подробное изложение развития небесной механики от Ньютона до Лапласа содержится в сочинении Тодгента (Todhunter) *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the earth from the time of Newton to that of Laplace*, London, Macmillan and Co., 2 тома, 1873.

ПЬЕР СИМОН ЛАПЛАС
1749–1827

же самой плоскости, в какой происходят их движения обращения. Такое исключительное явление не может быть игрой случая, а указывает на какую-то общую причину.

Для объяснения этих замечательных закономерностей Бюффон допустил, что некогда какая-то упавшая на Солнце комета оторвала от него поток материи, сжавшейся затем в более или менее крупные шары, расположенные на различных расстояниях от Солнца. Однако, по мнению Лапласа, эта гипотеза объясняет только одно из вышеперечисленных явлений. Действительно, ясно, что все образовавшиеся таким образом тела должны двигаться приблизительно в плоскости, проходящей через центр Солнца и траекторию материального потока, из которого образовались эти тела. Другие же явления не могут, как указал Лаплас, быть объяснены на основании гипотезы Бюффона. Малые эксцентриситеты планетных орбит говорят даже против этой гипотезы, ибо согласно теории центральных сил тело, движущееся вокруг Солнца и при этом касающееся его поверхности, должно при каждом своем обороте возвращаться к этой последней. Следовательно, если бы планеты первоначально оторвались от Солнца, то они после каждого оборота должны были бы почти соприкасаться с ним. В этом случае их орбиты были бы весьма эксцентричны, а не близки к окружностям, как это имеет место в действительности.

Какова бы ни была причина, вызвавшая движения планет и спутников, она должна была быть общей для всех этих тел. Если принять в расчет колоссальные расстояния, отделяющие планеты друг от друга, то причина эта, рассуждает Лаплас, могла заключаться только в жидкости, простиравшейся на огромное протяжение. Чтобы жидкость эта могла сообщить планетам почти круговые и одинаково направленные движения вокруг Солнца, она должна была окружать Солнце подобно атмосфере. Путем таких рассуждений Лаплас приходит к гипотезе, что солнечная атмосфера первоначально простиралась далеко за орбиты всех планет и постепенно сжалась до своего теперешнего объема.

К тому же результату приводил факт значительной эксцентриситеты кометных орбит. По мнению Лапласа, кометы представляют небесные тела, находившиеся в эпоху образования планет вне вышеуказанной жидкости. Орбиты комет столь различны, точно тела эти были пущены наудачу, не испытывая в своем движении никакого влияния солнечной атмосферы. Чтобы объяснить на основании своей гипотезы обращение и вращение планет, Лаплас предположил, что планеты образовались на последовательно возникавших границах вышеназванной атмосферы благодаря сгущению тех поясов, которые должны были образоваться в экваториальной плоскости под влиянием процессов охлаждения и сжатия. Аналогичным образом спутники образовались из соответственных атмосфер планет. Таким образом все известные явления непринужденно вытекают из гипотезы Лапласа, нашедшей дальнейшее подтверждение в кольцах Сатурна.

Уже за несколько десятков лет до Лапласа Иммануил Кант (1724—1804 гг.) сделал в Германии попытку получить дедуктивным

путем представление о процессе образования вселенной, в частности о возникновении нашей планетной системы. В своей „Всеобщей естественной истории и теории неба“¹ (1755 г.) Кант принимает за первоначальное состояние мира тончайшее распределение материи по всему мировому пространству, почему его концепцию называют также небулярной гипотезой. Под влиянием тяготения в первоначальной туманности образовались центральные тела. Соседняя с ними материя тоже сгустилась вокруг особых средоточий и под влиянием действия всеобщего притяжения приблизилась к центру. Если бы существовало одно только притяжение, то центральное тело соединилось бы со скопившимися вокруг отдельных точек массами. Но под влиянием силы отталкивания, также присущей материи, падавшие к центру тела испытали отклонения. Падение превратилось благодаря этому в вихревое движение, чем по Канту объясняется тот факт, что все планеты обращаются почти в одной и той же плоскости и в одном и том же направлении вокруг Солнца.

В действительности гипотеза Канта не объясняет происхождения вращательного движения планет. Лаплас признает недостаточность своей гипотезы в этом пункте. Он не дает никакого объяснения возникновению вращения, а исходит из газового шара, находящегося уже во вращательном движении, и получает при этом в существенном те же результаты, что и Кант. (*)

У Канта его гипотеза возникла под влиянием сочинения англичанина Райта (Wright)². Повидимому, Райт же сделал наблюдение, что неподвижные звезды не рассеяны беспорядочно в пространстве, а находятся в известном отношении к некоторой плоскости. Действительно, Райт пишет: „Звезды расположены тем гуще, чем больше мы приближаемся к Млечному Пути, так что из 2000 звезд, видимых невооруженным глазом, большая часть находится в узкой полосе, середине которой занимает Млечный Путь“. Ламберт также, как мы уже указали раньше³, высказал эту мысль и подробно развил ее. Ценным аргументом в пользу теории Канта явилось то, что некоторые дедукции его были подтверждены позднейшими наблюдениями. Прекраснейшим примером этого является произве-

¹ Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmelles oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt von Immanuel Kant. Издано в виде 12-го томика оствальдовской серии классиков точного знания А. фон-Эттингеном, 2-е издание, Лейпциг, 1898.

² Thomas Wright, Theory of the Universe, London 1750. В новейшее время Якоби (Jacobi) указал на значение работ Райта (Max Jacobi, Ein vorläufiger der Kant-Laplaceschen Theorie von der Weltenstehung, Preussische Jahrbücher, т. 117, 2 тетрадь.

Более точное название сочинения Райта гласит: An original Theory or New Hypothesis of the Universe founded upon the laws of Nature“.

Кант познакомился с книгой Райта по рецензии в одном немецком журнале. Райт родился в 1711 г. Он принял участие в экспедиции, снаряженной Королевским обществом в 1769 г. в Канаду для наблюдения прохождения Венеры. Он умер в 1786 г.

³ См. т. 2.

денное им вычисление вращения колец Сатурна¹. Кант допускал, что материя этих колец оторвалась от экватора планеты, в силу чего она обладает также вращательным движением. Согласно его выкладкам продолжительность вращения внутреннего края кольца должна равняться „приблизительно десяти часам“. В действительности же Гершель на основании своих наблюдений, произведенных 34 года спустя, нашел продолжительность вращения равной 10,5 часа. Далее взгляд Канта, что кольца Сатурна представляют собой скопления отдельных частичек, был впоследствии подтвержден путем отчасти теоретических, отчасти фотометрических исследований. Точно так же Кант в связи со своими соображениями о кольце Сатурна выдвинул теорию, господствующую отчасти и в настоящее время, что зодиакальный свет представляет собой окружающее Солнце и освещаемое им кольцо космической пыли.

Кант рассматривает также вопрос о том, не может ли под влиянием каких-либо обстоятельств уменьшиться или даже свестись к нулю время обращения планет вокруг своих осей. Так, например, он задает вопрос, не вращалась ли Луна в прежнее время скорее вокруг своей оси и не замедлилась ли под влиянием каких-либо причин продолжительность этого движения, приняв теперешние свои размеры. Более подробное исследование этой проблемы привело Канта к гипотезе, что приливная волна обладает тормозящим действием. И эта гипотеза Канта оказалась удачной и имеющей огромное научное значение. Кант показал, что вращение Земли вокруг оси должно испытывать замедление, ибо порождаемые Луной и Солнцем приливные волны действуют на Землю как тормоз. В процессе замедления вращение Луны вокруг оси стало под конец равным периоду обращения ее вокруг Земли, потому что действие Земли, вызывавшее приливную волну на Луне, в 3600 раз больше, чем действие, оказываемое Луной на земные океаны. Эти гипотезы Канта были впоследствии подтверждены путем математической дедукции². Таким образом гипотеза Канта оказалась смелой, но и удачной теоретической попыткой, ибо она со всех сторон получила ряд подтверждений³.

В конце своего трактата Кант обращается против религиозных аргументов, которые можно было бы противопоставить его взглядам. Ведь многие думают, что, если ищут объяснения происхождения мира, то этим отнимают у божества свободу управления им. В противоположность этому Кант утверждает, что, если наблюдаемый во вселенной порядок может вытекать из всеобщих законов природы, то вся природа необходимым образом является продуктом высшей мудрости. Однако Кант не делает из своего учения последних выводов. Он ограничивает область приложения механического метода объяснения природы процессами неорганического мира, считая его недостаточным для объяснения хотя бы простейшего организма.

¹ Ostwalds Klassiker, № 12, стр. 41 и сл.

² G. H. Darwin, On the tidal friction of a planet attended by several satellites, „Phil. Trans.“, London, II, стр. 491 и сл., 1881.

³ H. v. Helmholtz (Vortäge, II, стр. 84).

В XIX в. предпринимались неоднократно попытки расширить пределы механического объяснения природы на все бытие, но при этом все же не удалось дать удовлетворительного объяснения взаимоотношениям между душой и материей¹. (*)

РАСШИРЕНИЕ НАШИХ ЗНАНИЙ О ВСЕЛЕННОЙ

Вместе с развитием теории значительно расширились также наши знания о планетной системе. Уже Кеплер указал на сравнительно значительное расстояние, отделяющее друг от друга орбиты Марса и Юпитера. Под влиянием теоретических умозрений, имевших целью установить закономерность между расстояниями планет от Солнца, в 1800 г. стали в поисках мелких планет исследовать зодиак. Первого успеха в этом направлении добился Пьяцци (Piazzi)².

Этот астроном в начале января 1801 г. наблюдал одну звезду восьмой величины, находившуюся в созвездии Тельца. Когда на следующий вечер он снова направил трубу на эту звезду, то оказалось, что она изменила свое положение по отношению к соседним звездам и, следовательно, была планетой. Новая планета была названа Церерой. Планета эта вскоре была утеряна из виду Пьяцци, но Гаусс вычислил ее местоположение, а Ольберс (Olbers) затем снова нашел ее, отведя ей место между Марсом и Юпитером. То же самое оказалось и по отношению ко второй, открытой Ольберсом планете, Палладе. В 1804 г. была открыта еще Юнона, а в 1807 г. Веста. Этим было положено начало открытию целого кольца расположенных между Марсом и Юпитером планетоидов. Когда были изготовлены точные небесные карты, на которых нанесены звезды до девятой величины, то число новооткрытых планетоидов дошло до многих сотен.

Наши знания о планетной системе расширились в другом направлении благодаря другому великому астроному этой эпохи, Вильяму Гершелю (Herschel)³. Это расширение состояло в открытии Урана. Так как Гершель больше, чем какой-либо другой исследователь, обогатил наши сведения о том, что находится за границами нашей планетной системы, и благодаря этому стал подлинным основателем астрономии неподвижных звезд, то мы несколько подробнее остановимся на его необычайной биографии и научной карьере.

Фридрих-Вильгельм Гершель родился 15 ноября 1738 г. в Ганновере. Отец его, бедный, имевший многочисленную семью музыкант, питал большое уважение к астрономии. Сестра Гершель, ме-

¹ В новейшее время был выдвинут ряд возражений против канто-лапласовской теории; однако останавливаться на них было бы здесь неуместно. (Примечание фон-Липпмана).

² Пьяцци родился в 1746 г. Он построил в Палермо обсерваторию, которой и руководил в дальнейшем. Он умер в 1826 г. в Неаполе.

³ В области наблюдательной астрономии и связанных с ней концепций Гершель занимает столь же высокое место, какое Лаплас занимает в области теоретической астрономии. (Примечание Э. Видемана.)

☞ ФРИДРИХ ВИЛЬГЕЛЬМ ГЕРШЕЛЬ
1738—1822

муарзм которой¹ мы обязаны почти всем, что мы знаем о юности великого астронома, рассказывает, что в ясные ночи отец водил ее и сестер на улицу, чтобы познакомить их с наиболее прекрасными созвездиями. Он помогал также ее брату Вильгельму в его занятиях.

Вильгельма также готовили к карьере музыканта. Живой интерес к теории этого искусства побудил его основательно заняться математикой. 15 лет от роду Вильгельм поступил в оркестр одного полка, с которым он вскоре после этого² отправился в Англию. Оставив службу в полку, он получил место органиста в Бате, куда за ним последовала его сестра Каролина. Последняя преклонялась перед своим братом. Она была ему верной помощницей и много содействовала ему в достижении всемирной славы. Хотя должность органиста отнимала у Гершеля массу сил и времени, но он находил все же досуг для продолжения своих научных занятий. Благодаря тому обстоятельству, что его любимый автор по теории музыки³ написал также сочинение по оптике, а также благодаря воспоминаниям из поры юности, Гершель начал со все большим рвением заниматься астрономией. „Когда я познакомился с этой наукой, — писал он впоследствии⁴, — я принял решение не принимать ничего на веру, а проверять собственными глазами все то, что другие увидели до меня“. Но так как покупка телескопа требовала больших средств, то Гершель решил сам изготовить себе подзорную трубу. После долгих трудов он построил на 37-м году своей жизни зеркальный телескоп, с помощью которого можно было видеть кольцо Сатурна. Огненные рвение Гершеля удвоилось. Он поставил себе задачу строить телескопы, из которых каждый новый превосходил бы предыдущий.

Гершель написал уже несколько небольших астрономических работ, когда он сразу стал знаменитостью благодаря открытию новой планеты (Урана), орбита которой находится за орбитой Сатурна. Это открытие произошло 13 мая 1781 г. В анналах астрономии это было единственное в своем роде событие. Король Георг III, имевший собственную обсерваторию, познакомившись с телескопом Гершеля и убедившись, что он превосходит лучшие инструменты этого рода, назначил его королевским астрономом.

УЛУЧШЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Теперь только Гершель отказался от места органиста и покинул Бат (в 1782 г.), чтобы отдаться исключительно исследованию неба. Располагая значительными средствами (король предоставил в его распоряжение 4000 фунтов стерлингов), он построил гигантский телескоп, изготовление которого потребовало несколько лет

¹ Karoline Herschels, Memoiren und Briefwechsel. Перев. на нем. язык Шайбе (Scheybe), Берлин 1877.

² В 1757 г.

³ Smith, Harmonics.

⁴ В письме от 15 февраля 1783 г., перепечатанном в „Göttingen Magazin der Wissenschaften und Literatur“, III, 534.

(1785—1789 гг.). Конструкция гершеллева телескопа была своеобразная (рис. 52). Новый инструмент имел только одно зеркало диаметром в 4 фута и весом около 2 000 фунт. Это зеркало M было слегка наклонено к оси инструмента, так что изображение ab возникало у нижнего края отверстия, где его можно было рассматривать через окуляр. Правда, при этом терялась часть света, так как наблюдатель глядел в трубу спереди. Но при достаточном диаметре зеркала потеря была не настолько велика, чтобы отказаться от этой системы.

До самой смерти (25 августа 1822 г.) Гершель неутомимо занимался исследованием неба в своей обсерватории, построенной им недалеко от Виндзора. Свой наблюдательный пост он покидал лишь время от времени, чтобы делать Королевскому обществу сообщения о результатах своих исследований. К рассмотрению этих последних мы и обратимся теперь.

После открытия Урана Гершель прежде всего сделал ряд ценных наблюдений, касающихся нашей планетной системы. Так, он

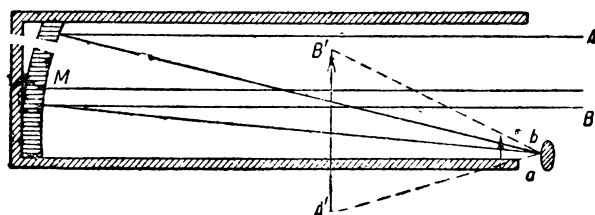


Рис. 52. Схема зеркального телескопа Гершеля.

открыл несколько спутников Урана, а также первого и второго спутника Сатурна. Еще Гюйгенс первый доказал существование у Сатурна одного спутника (именно шестого). Гершель показал, далее, что открытые тем же Гюйгенсом белые пятна на полюсах Марса зависят от времен года на этой планете, и пытался объяснить это причинами, аналогичными тем, которые имеют место на земле¹. В то время как уже Кассини (Cassini) сумел установить время вращения Юпитера на основании наблюдения некоторых пятен этой планеты, лишь Гершелю удалось решение этой задачи для Сатурна².

НОВЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ПРИРОДУ СОЛНЦА И ДВИЖЕНИЕ ЕГО

Перейдя затем к изучению центрального тела нашей системы, Гершель пытался определить как физическую природу его, так и его движение и положение в мировом пространстве. Но его теория строения Солнца, основывавшаяся на наблюдении солнечных пятен, была оставлена в середине XIX в. Гершель отказался от старой,

¹ Herschel, On the remarkable appearance, at the polar region of the Planet Mars, 1784.

² По указаниям Гершеля время обращения Сатурна равно 10 ч. 29 м.

признанной в настоящее время снова правильной теории, что Солнце представляет собой тело с весьма высокой температурой. Он предположил, что Солнце состоит из твердого, не светящегося (может быть, даже обтянутого) ядра, окруженного прозрачной атмосферой, и находящейся над ней светящейся фотосферы. Согласно теории Гершеля солнечное пятно возникает всякий раз, когда в фотосфере

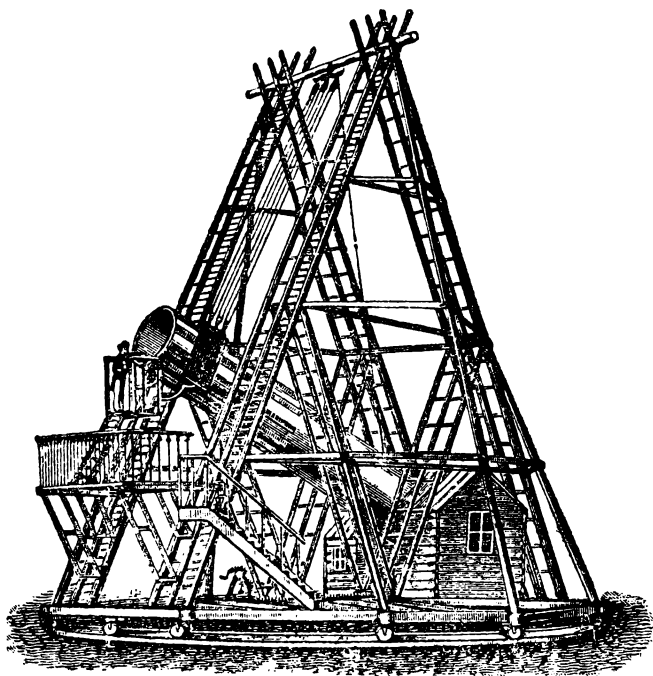


Рис. 53. Сорокафутовый рефлектор, построенный Гершелем в 1785—1789 гг.⁴

под влиянием поднимающихся паров получается разрыв, через который проглядывает темное ядро Солнца.

Так как к тому времени удалось доказать, что неподвижные звезды обладают собственным движением, то естественно возникала мысль, что и наше Солнце со всеми своими планетами, спутниками и кометами само находится в движении по направлению к определенной точке неба. Подобное движение должно было обнаружиться в видимом раздвигании звезд, расположенных в направлении этого движения, а также в сближении звезд, расположенных в ди-

⁴ „Philos. Transact.“, II, табл. XXIV, 1795.

В Немецком музее в Мюнхене в отделе астрономии имеются зеркальные телескопы систем Ньютона и Гершеля, а также подлинное зеркало одного из знаменитейших телескопов, именно того инструмента, с помощью которого Шредер производил в XVIII в. свои исследования планет.

аметрально противоположной части неба. Гершелю¹ удалось действительно установить наличие таких изменений, которые заставляют предполагать поступательное движение солнечной системы и которые комбинируются с действительными собственными движениями неподвижных звезд. Точка, к которой, по его мнению, движется Солнце, находится в созвездии Геркулеса. Хотя скорость солнечного движения измеряется, вероятно, многими тысячами миль в час, но потребуются еще очень много времени, чтобы установить в точности движение Солнца вокруг какого-нибудь чрезвычайно удаленного центра тяжести.

ГЕРШЕЛЬ ОСНОВЫВАЕТ АСТРОНОМИЮ МИРА НЕПОДВИЖНЫХ ЗВЕЗД

С проблемой собственного солнечного движения тесно связано было доказательство Гершелем того факта, что многие из звездных пар, считавшихся прежними астрономами только кажущимися двойными, действительно являются двойными системами. Гершель составил каталог не менее чем 846 двойных звезд. Впоследствии было доказано, что движение таких двойных звезд происходит согласно закону тяготения, получившему благодаря этому характер подлинно всемирного закона.

До Гершеля полагали, что неподвижные звезды расположены как бы на поверхности шара. Со времени же Гершеля астрономия начинает заниматься вопросом о распределении этих небесных светил в пространстве. Уже до него Млечный Путь и расположение находящихся вне него звезд привлекли к себе внимание такого мыслителя, как Кант². Но только Гершель сумел заменить простые догадки систематическими наблюдениями, своим методом так называемых „черпков“, на основании которого он доказал, что все видимые звезды вместе с Млечным Путем—в совокупности около 20 миллионов звезд—образуют чечевицеобразное скопление и что Солнце находится несколько в стороне от центра этого скопления. Это доказал Гершель в своем сочинении, озаглавленном „О строении неба“³.

Составленный Мессье (Messier) каталог туманных пятен и звездных куч, содержащий около ста номеров, побудил Гершеля направить свой телескоп и на эти небесные объекты. К своей величайшей радости он нашел, что его могучий инструмент разлагал большинство туманных пятен на звезды. Оказалось, что они либо состоят из одних только звезд, либо по крайней мере содержат в себе звезды. Упомянутое в каталоге Мессье⁴ „туманное пятно

¹ Herschel, On the proper motion of the Sun and the Solar System, 1783.

² См. стр. 223 настоящего тома.

³ Herschel, On the construction of the heavens, „Phil. Trans.“, 1784. Перевод на немецкий язык этого сочинения вместе с сделанным по указанию Канта извлечением из кантовой „Естественной истории неба“ появился в 1791 г.

⁴ Мессье в „Трудах“ Парижской академии наук за 1771 г., стр. 435. Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles, observées à Paris par M. Messier.

без звезды¹, находящееся поблизости Волос Вероники, представилось Гершелю в виде очень плотного скопления звезд. „Это,—говорит Гершель,—один из прекраснейших объектов, увиденных мною когда-нибудь на небе. Скопление представляется в виде шара из маленьких звезд, испускающих сплошное сияние, и группы окружающих этот шар звезд, ясно различимых в основной массе“ (рис. 54)¹.

Начиная свои наблюдения, Гершель предполагал, что многие туманности еще не открыты. Поэтому он надеялся значительно дополнить составленный Мессье каталог из ста звездных куч и туманностей. Ожидания его оправдались. Действительно, тогда как Галилею было известно всего шесть туманных пятен, а каталог Мессье, как уже было упомянуто, содержал около ста номеров, Гершель за 1786—1802 гг. отметил, описал и каталогизировал около 2500 туманностей. Работу Гершеля продолжал его сын Джон, открывший во время своего пребывания в научной экспедиции на мысе Доброй Надежды² почти такое же количество туманностей на южном небе.

Тщательное исследование туманностей привело Гершеля к гипотезе, что и Млечный Путь представляет не что иное, как звездную кучу, внутри которой несколько эксцентрически находится Солнце. Это, по словам Гершеля, вытекает из формы Млечного Пути, который должен иметь вид большого круга на небесном своде, если Солнце принадлежит к этой звездной куче. Допустим вместе с Гершелем, что некоторое количество звезд расположено между двумя параллельными, далеко простирающимися плоскостями, расположенными на известном расстоянии друг от друга. В таком случае для наблюдателя, находящегося где-нибудь внутри этого звездного слоя, все заключающиеся в нем звезды расположатся по большому кругу. Последний в зависимости от плотности скопления звезд будет казаться более или менее ярким, между тем как остальные части неба будут казаться усеянными только отдельными созвездиями. Так, например, наблюдатель, находящийся в точке *S* (рис. 55)³ внутри слоя *ab*, увидит звезды, расположенные в направлении этого слоя, в виде яркого круга *ABCD*, между тем как звезды, расположенные на сторонах *tv* и *nv*, должны будут казаться рассеянными по остальной части неба в *MVNV*.

Если бы наблюдатель находился где-нибудь вне рассматриваемого слоя звезд, то последний принял бы форму диска, более или менее значительного в зависимости от расстояния от наблюдателя.

Рис. 54. Сделанный Гершелем рисунок туманного пятна.

¹ W. Herschel, Ueber den Bau des Himmels. Переведено на немецкий язык И. В. Пфаффом (Pfaff), Лейпциг 1850 г., табл. 1, фиг. 2 (№ 53 каталога Мессье).

² 1814—1833 гг.

³ W. Herschel, Ueber den Bau des Himmels, табл. 2, фиг. 16.

А если бы это расстояние стало очень большим, то весь звездный слой предстал бы под конец в виде одного светлого пятна.

Допустим, далее, вместе с Гершелем, что от первого звездного слоя отделяется в определенном направлении меньший слой, тоже заключенный между двумя параллельными, тянущимися в бесконечность плоскостями. Если наблюдатель будет находиться в главном слое недалеко от пункта разветвления, то второй слой представится ему не в виде круга, а в виде светящейся ветви, исходящей из

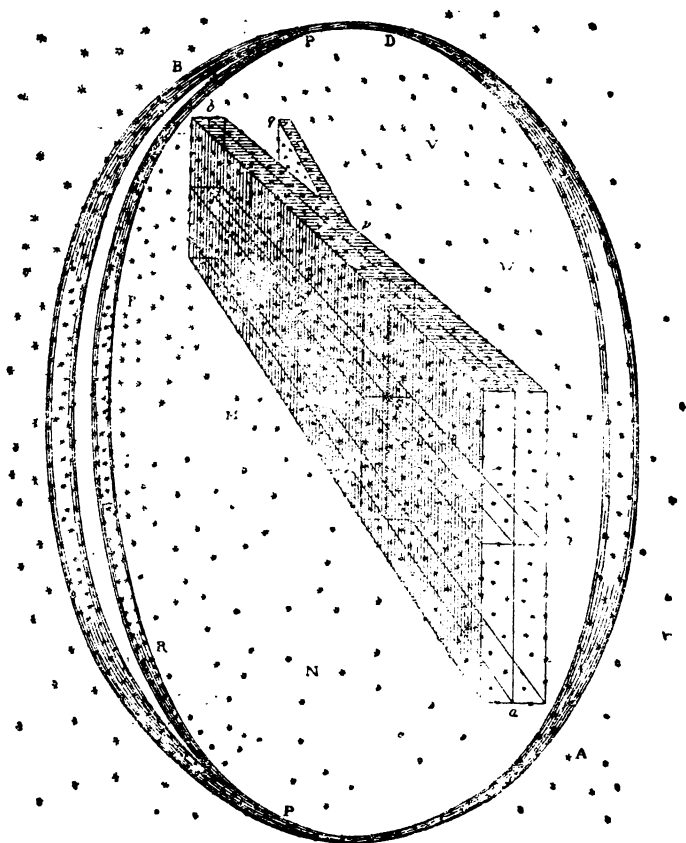


Рис. 55. Вывод Гершеля формы Млечного пути.

круга и на известном расстоянии снова соединяющейся с ним. Так, например, на рис. 55 звезды, находящиеся в небольшом слое pg , предствятся в виде светлой дуги $PRRP$, которая после отделения от круга снова соединяется с ним.

На основании фигуры Млечного Пути Гершель сделал поэтому тот вывод, что Солнце принадлежит к большому звездному скоплению и находится недалеко от того места, где от нее ответвляется меньшее звездное скопление.

Вначале Гершель допускал, что все туманности являются звездными кучами. Однако когда он открыл ясно очерченные звезды, окруженные туманностями, находящимися, очевидно, в каком-то отношении к этим звездам, то он предположил, что имеет здесь дело со светящимися газовыми массами, которые могут существовать и не заключая в себе звезд и представляют собой первичное вещество, служащее для образования новых небесных тел. В соответствии с этим он предположил, что в представляемой нам звездным небом картине можно наблюдать все стадии процесса образования вселенной. Позднейшие исследования — в особенности спектроскопические — подтвердили правильность этих смелых умозаключений.

На основании размеров исследованного его телескопом пространства Гершель доказал, что свет, доходящий до нас от отдаленнейших небесных светил, употребляет на это многие тысячи лет, так что наши телескопы пронизывают не только пространство, но и время. Поэтому Гумбольдт¹, основываясь на полученных Гершелем результатах, мог с полным правом сказать, что свет отдаленнейших небесных светил является древнейшим чувственным свидетельством существования материи.

Когда ко времени празднования столетия открытия Урана появилась биография Гершеля², то в ней правильно было указано, что во взглядах Гершеля на строение неба можно в настоящее время изменить лишь немного. „Каждое астрономическое открытие, — читаем мы в этой книге³, — и каждый хорошо наблюденный физический факт дает возможность разработать ту или иную частность или улучшить второстепенный пункт этой гипотезы. Но как научная концепция — это, может быть, величайшее творение человеческого духа“.

СОСТАВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ И ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ

Теориям происхождения мира, созданным почти одновременно Гершелем и Лапласом, а до них еще Кантом, обща та мысль, что небесные светила, составленные согласно воззрениям прежних эпох из совершенно особенного вещества, в материальном отношении не отличаются существенным образом друг от друга и от Земли. Взгляд этот был подтвержден не только позднейшими спектроскопическими исследованиями, но также правильным истолкованием существа метеоритов, сделанным еще в эпоху Гершеля и Лапласа.

Хотя сообщения об упавших с неба каменных и железных массах имеются уже с самых древних времен, но только в XVIII в. пробудился научный интерес к ним. В середине XVIII в. были зарегистрированы два замечательных факта. Немецкий естествоиспытатель Паллас (Pallas), путешествовавший по Сибири, нашел недалеко от Енисея железную глыбу весом в 1600 фунтов, состав

¹ „Kosmos“, т. 1. отд. 3.

² Holden, Wilhelm Herschel, sein Leben und seine Werke. Переведено на немецкий язык Валентином (Valentiner), Берлин 1832.

³ Цит. соч., стр. 214.

которой показывал, что она представляет собой не дело рук человека¹. Далее в 1751 г. в Аграме упал—и это вполне достоверный факт—метеорит². Упавший метеорит выкопали из земли и передали венскому естественно-историческому кабинету. Правда, директор музея с насмешкой отверг мысль, будто эта масса железа упала с неба. По его мнению, она образовалась из составных частей почвы под влиянием атмосферного электричества.

В 1794 г. немецкий физик Хладни (Chladni) выпустил работу, в которой, в противоположность всем своим ученым современникам, он высказался в пользу космического происхождения метеоритов, утверждая, что открытое Палласом³ железо и аналогичные железные массы представляют собой именно вещество подобных упавших на землю тел.

Хладни указал прежде всего на следующие точно зарегистрированные и научно установленные случаи падения метеоритов в XVIII в.

17 мая 1719 г. над Англией показался огненный шар⁴. Он пролетел триста миль за одну минуту и разорвался затем с грохотом, потрясшим двери, окна и целые дома.

11 ноября 1761 г. наблюдали огненный шар во Франции⁵. Он разорвался со страшным грохотом на массу мелких кусков. Некоторым лицам казалось, что они видят пламя около себя. Один кусок попал⁶ в какой-то дом и зажег его.

23 июля 1762 г. в местности между Лейпцигом и Цейцом, почти в зените над ней, показался в виде маленькой звезды огненный шар, который Зильбершлаг (Silberschlag) описал в своей „*Theorie der am 23 Juli 1762 erschienenen Feuerkugel, Magdeburg 1764*“⁷ („Теория огненного шара, появившегося 23 июля 1762 г.“). Звездочка эта, увеличиваясь в размерах, промелькнула над Виттенбергом и Потсдамом и разорвалась с громким шумом в нескольких милях за Потсдамом. Этот огненный шар был яркочелюстного цвета и осветил территорию диаметров по меньшей мере в 60 немецких миль. Высота его в начале наблюдения равнялась около 19 миль, а в момент разрыва больше 4 миль.

Хладни отверг прежние теории, согласно которым метеоры представляют собой электрические разряды, скопления горючих газов,—словом, представляют собой явления земного происхождения; он отверг их как несовместимые с установленными им фактами.

¹ Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer, ihr ähnlichen Eisenmassen und über einige, damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen von Chladni, Riga 1794.

² D a n n e m a n, Aus der Werkstatt gross-r Forscher, стр. 167, 1922.

³ Большой кусок палласова железа находится в Королевской коллекции в Берлине. Дальнейшие указания о нем см. в „*Geschichtsbätter für Technik*“, т. 4, 1, 1917.

⁴ О нем сообщает Галлей в „*Phil. Transact.*“ № 360, стр. 978.

⁵ Об этом сообщается в „*Histoire de l'académie des sciences*“, стр. 28, 1761.

⁶ Как об этом говорится в „*Mémoires de l'académie de Dijon*“, т. 1, стр. 42.

⁷ Зильбершлаг (1721—1791) старший строительный советник и член Берлинской академии наук, утверждал, что этот огненный шар возник из испарений многочисленных трупов, покрывавших летом 1762 г. поля битв (II).

По мнению Хладни, общепринятому и в настоящее время, в мировом пространстве рассеяны бесчисленные маленькие массы, не находящиеся непосредственно ни в каком отношении ни к одному более или менее значительному небесному светилу. Под действием сил толчка и притяжения они движутся до тех пор, пока не приблизятся к Земле или к другому небесному светилу, на которые и падают благодаря силе их притяжения. При быстром движении их через атмосферу в них благодаря сильному трению о последнюю, развивается огромное количество теплоты. Вследствие этого они раскаляются, а внутри них образуются пары, которые под конец разрывают их.

Вопрос о том, как возникли эти тела или как они дошли до состояния небольших изолированных масс, Хладни считает тождественным с вопросом о возникновении небесных светил вообще. Надо допустить, что небесные светила — если отвлечься от происходящих на их поверхности перемен — всегда были и будут тем, что они представляют собою теперь, или же, что когда-то существовали силы, способные образовать и разрушить небесные светила и целые мировые системы, а затем снова создать из их вещества новые тела. В пользу этой последней гипотезы больше оснований, чем в пользу первой. Но чтобы принять подобное возникновение небесных светил, надо допустить, что благодаря силе притяжения собрались крупные массы из прежде рассеянных материальных частиц, что произошло раздробление некоторой крупной массы.

Подобные изолированные массы должны продолжать свое движение в пространстве до тех пор, пока они не попадут в сферу притяжения какого-нибудь небесного светила и не обнаружатся в виде огненных шаров.

Такое же происхождение Хладни приписывал железным массам, найденным Палласом и другими путешественниками. Подобная железная глыба весом в 300 центнеров, была найдена, например, в Южной Америке, и притом в таком месте, где на 100 миль в окружности не встречается железной руды и не имеется даже камней.

Хладни показал, что эти железные массы не возникли ни из воды, ни от действия молнии или вулканического извержения. Весьма замечательно, говорит он, что железо является главной составной частью найденных до сих пор метеоритов. Приходится поэтому предположить, что железо было главной составной частью при образовании небесных светил¹. Вероятно также, что другие содержащиеся в некоторых метеоритах элементы, как сера, кремнезем, магnezия и т. д., свойственны не только нашей Земле, но послужили также материалом при образовании небесных светил².

¹ Это предположение Хладни было впоследствии подтверждено спектральным анализом небесных светил.

² Новейшие исследования показали, что в состав метеоритов входят многочисленные элементы, встречающиеся также в составе Земли. Предположение Хладни, что вселенная обладает по существу повсюду одинаковым химическим составом, гармонирует также с кэпто-лапласовской гипотезой и было подтверждено современной астрофизикой.

Хладни сначала был осыпан насмешками. Французская академия, несмотря на ряд хорошо установленных фактов, высказалась в том смысле, что сообщения о таких явлениях природы относятся к области вымысла. Но очень скоро под давлением фактов она должна была отказаться от этого взгляда. Действительно, 26 апреля 1803 г. в Нормандии выпал грандиозный каменный дождь, который наблюдался сотнями лиц и был описан во всех своих подробностях делегатами самой Академии¹. С этого времени правильность взглядов Хладни была всеми признана. Некоторые исследователи шли даже в этом отношении настолько далеко, что утверждали, будто небесные светила возникли благодаря скоплению метеоритов².

Химический анализ был к этому времени уже настолько разработан, что, исходя из гипотезы о космическом происхождении метеоритов можно было доказать, что находящееся вне Земли мировое вещество тождественно по своему элементарному составу с земной материей. Так было открыто³, что в метеоритном железе всегда содержится некоторое количество никеля (до 35%) и что наличие никеля, как и своеобразные видманшtedтовские фигуры, появляющиеся при воздействии азотной кислоты на поверхность железного метеорита, служат характерными признаками метеоритного железа (фигуры эти были открыты в 1808 г. Видманшtedтом, который сумел их точно скопировать)⁴. Вслед за никелем в метеоритном железе были найдены еще кобальт и медь. В опубликованной Берцелиусом работе к этому списку прибавилось еще шесть элементов, именно фосфор, углерод, кремний, магний, олово и марганец. Позднейшие исследования еще увеличили число этих элементов, которые, как оказалось, все совпадают с имеющимися на Земле элементами.

То, что Хладни доказал для метеоритов, то два других немецких ученых, по имени Бенценберг (Benzenberg)⁵ и Брандес (Brandes)⁶ установили для падающих звезд. При помощи наблюдений, производившихся одновременно в различных пунктах, им удалось доказать космическое происхождение и этих явлений, которые раньше приписывали серным испарениям или же горючим газам. Бенценберг и Брандес наблюдали падающие звезды с двух концов базисной линии длиной в 27 000 парижских футов. Отметив точно место и время исчезновения падающих звезд, они смогли во многих случаях доказать тождество наблюдаемых объектов и могли на основании своих данных определить скорость этих тел, а также высоту появления их, указывающую на космическое происхождение их⁷.

¹ „Gilberts Annalen“ 15, 74 и 16, 44, 70.

² Биберштейн (Biberstein), 1802.

³ Howard, 1802.

⁴ G. Rose, Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften, стр. 33, 1863.

⁵ Johann Friedrich Benzenberg, 1777—1846.

⁶ Heinrich Wilhelm Brandes, 1777—1834.

⁷ Benzenberg u. Brandes, Versuch die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen, 1800. „Попытка определить расстояние, скорость и орбиты падающих звезд“

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ И ОПЫТЫ НАД ПАДЕНИЕМ ТЕЛ

Если в предшествующую эпоху благодаря открытию Брэдлеем явления аберрации удалось дать наглядное доказательство движения Земли вокруг Солнца, то теперь Бенценберг сумел представить подобное доказательство в пользу вращения Земли вокруг своей оси. Как известно, один из аргументов против коперниковой теории заключался в том, что под влиянием вращения Земли свободно падающее тело должно упасть в точке, расположенной несколько к западу от его исходной точки. Ньютон, наоборот, доказал в 1679 г., что в случае свободного падения вследствие силы инерции и большей тангенциальной скорости тела в начале его падения должно ожидать отклонения к востоку. Королевское общество решило проверить утверждение Ньютона путем точных опытов. Но так как при этих опытах имели дело с незначительными высотами, то они не привели ни к какому результату. Прошло больше ста лет, прежде чем были предприняты новые исследования, давшие на этот раз лучшие результаты. Опыты эти производил Гульельмини (Guglielmini) в Болонье, в башне, служившей уже раньше для аналитических опытов Риччиоли (Riccioli)¹.

Гульельмини² избрал эту башню потому, что внутренность ее как бы создана для подобных опытов, и потому, что в ней можно очущать тела с высоты в 240 парижских футов. Опыты эти потребовали ряда предосторожностей, так как надо было избежать малейшего воздушного течения, а также сотрясения здания или самого шара в момент опускания его. Хотя опыты Гульельмини, о которых сообщает подробно Бенценберг, свидетельствуют о неутомимом терпении исследователя и хотя они определенно говорят в пользу отклонения к востоку, однако они еще не были настолько свободны от недостатков, чтобы на основании их можно было говорить о достаточном совпадении между теорией и наблюдением. Поэтому ученый мир с нетерпением ожидал окончательного решения снова поднятого Гульельмини и имевшего за собой столетнюю давность вопроса. Это решение дали независимо друг от друга немецкие физики Бенценберг и Райх (Reich).

Доказательство требуемого теорией отклонения дали опыты произведенные Бенценбергом в 1802 г. на башне Михаила в Гамбурге, а также в одной рейнской угольной шахте³. При высоте падения в 235 и в 262 фута получилась заметное отклонение в несколько линий. Произведенные с той же целью опыты Райха⁴ показали при высоте падения в 480 футов отклонение к востоку в 12,6 линии, по величине в точности совпадающее с требованиями теории.

¹ См. т. 2.

² J. Bapt. Guglielmini, De diurno terrae motu experimentis physico-mathematicis confirmato, Bologna 1792. („Исследования о суточном движении Земли, подтвержденные физико-математическими опытами“).

³ Versuche über das Gesetz des Falles, Dortmund 1804. („Опыты о законе падения“).

⁴ Опыты эти производились Райхом в одной шахте около Фрейберга.

Астрономия в этот период, названный нами по именам Лапласа и Гершеля, оставалась еще по существу небесной механикой. Изучение небесных светил, выходящее за пределы вопросов о форме и распределении движения, было еще невозможно за отсутствием почти всех химических и физических предпосылок. Они появились лишь в XIX в. и возникли в областях учения о теплоте и оптике. Лишь после того, как мы познакомимся с эволюцией этих отраслей знания, мы сможем вернуться к астрономии и проследить ее превращение в космическую физику и химию.



ОСНОВЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

Произведенная Лавуазье реформа химии, а также открытие гальванического электричества и его главнейших свойств были научными революциями такого масштаба, что они положили начало новой эпохе. Последняя, между прочим, характеризуется еще тем, что физика и химия со времени установления связи между химическими процессами и электрическими явлениями вступили в теснейший контакт между собой. Это имело своим следствием массу крупнейших открытий, которыми мы займемся в ближайших главах и на которых главным образом покоится возникшая около середины XIX в. грандиозная концепция о единстве силы, а также наши современные представления о сущности материи. В теснейшей связи с этими достижениями находится, наконец, ряд теорий, вошедших в железный инвентарь науки и относящихся главным образом к области учения о теплоте и оптике, области, в которой прежнее учение о невесомых было заменено опирающимся на механические принципы объяснением.

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СУЩНОСТИ ТЕПЛОТЫ

Уже в начале XVIII в. мы встречаемся с представлением, согласно которому теплота является не каким-то особым веществом, а движением мельчайших частиц материи¹. Однако первые опыты, на основе которых воздвиглась возобладавшая с середины XIX в. механическая теория теплоты с вытекающими из нее выводами, относятся к концу XVIII в., эпохе, когда начался описанный нами

¹ К числу первых физиков, пытавшихся объяснить тепловые явления, не прибегая к гипотезе какого-то особого вещества, принадлежит Даниил Бернулли (Bernoulli) (см. появившееся в 1716 г. сочинение Бернулли: *Phoronomia sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum*).

Бернулли на основании развитых им взглядов назвали одним из основателей кинетической теории газов (R ü d m a n n, *Handbuch der mechanischen Wärmetheorie*, т. I, 1876, стр. 72). Ту же концепцию о сущности теплоты выдвинул лет десять спустя великий Эйлер в работе „*Tentamen explicationis phaenomenorum aeris*“, появившейся в „Трудах“ Петербургской академии наук за 1727 г.

Поскольку дело идет о простых намеках, механическую теорию теплоты можно проследить вплоть до Гука.

грандиозный расцвет химии и физики. Особенно плодотворно работал в этом направлении Румфорд (Rumford)¹.

Румфорд родился в 1753 г. в Северной Америке. Во время войны за независимость он примкнул к англичанам и в 1776 г. переехал в Лондон. Румфорд был очень талантливым человеком, одинаково одаренным как в теоретическом, так и в практическом отношении. Благодаря своим новаторским попыткам в военном деле и в области социальной жизни² он повсюду умел заинтересовывать собой власть имущих. В течение ряда лет Румфорд работал в Баварии. Он строил здесь военные заводы, дошел до поста военного министра, а под конец, в виде признания за свои заслуги, был возведен в графское достоинство. В 1800 г. он создал в Лондоне Royal Institution (Королевский институт). Через несколько лет он переселился в Париж, где женился на вдове Лавуазье, в салоне которой собирался цвет научной мысли Франции. Наполеон, одной из положительных черт которого было влечение к науке и уважение к ее представителям, тоже отличил Румфорда. Румфорд умер в Париже в 1814 г.³

Румфорд повторил прежде всего произведенный уже Бойлем опыт со взвешиванием, рассматривавшийся как аргумент против вещественной природы теплоты. Румфорд уравнивал два сосуда, содержащих одинаковое количество ртути и воды, причем температура окружающей среды равнялась 61°. Затем весы вместе с сосудами были перенесены в комнату, температура которой равнялась лишь 34°. Хотя удельная теплота воды примерно в 30 раз больше, чем ртути, и хотя, следовательно, вода отдала гораздо большее количество теплоты, чем ртуть, но весы не показали ни малейшего отклонения в сторону ртути⁴.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ПРОТИВ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ПРИРОДЫ ТЕПЛОТЫ

Если бы, несмотря на отрицательные результаты этого опыта, продолжали все же настаивать на вещественном характере теплоты, то следовало во всяком случае допустить, что изолированная система тел не может непрерывно сообщать окружающей среде теплоты, не истощаясь постепенно. Доказав экспериментальным образом, что путем взаимного трения двух тел можно получить неограниченные количества теплоты, Румфорд вырвал почву из-под гипотезы о материальном характере теплоты.

¹ Его настоящее имя было Вениамин Томпсон (Thompson)

² О деятельности Румфорда на поприще филантропии и результатах этой деятельности см. в особенности сочинение Гегельса (Hegels), появившееся в 1815 г. в издании Королевской баварской академии наук.

³ Американская академия наук выпустила полное собрание сочинений Румфорда, а также весьма подробную биографию его: „Memoir of sir Benjamin Thompson (count Rumford) by George E. Ellis. Published in Connection with an edition of Rumfords Complete Works, Boston 1871.

⁴ „Phil. Transact.“, 1799. См. также G. Berthold, Rumford und die mechanische Wärmetheorie. Versuch einer Vorgeschichte der mechanischen Theorie der Wärme, Heidelberg 1875.

Об этом знаменитом опыте Румфорд сделал доклад в Королевском обществе в 1798 г.¹ „Когда в недавнее время,—начинает свой доклад Румфорд,—я выполнял функцию верховного надзора над сверлением пушек в мюнхенском арсенале, то я был поражен огромным количеством теплоты, получаемым пушкой за короткое время при ее сверлении. Тщательное изучение этого явления заставило меня предположить, что благодаря ему удастся лучше понять скрытую природу теплоты. Подобное исследование, повидимому, может помочь нам составить себе рациональные гипотезы о существовании или несуществовании особой огненной жидкости, насчет которой всегда имелись разногласия среди ученых и философов“.

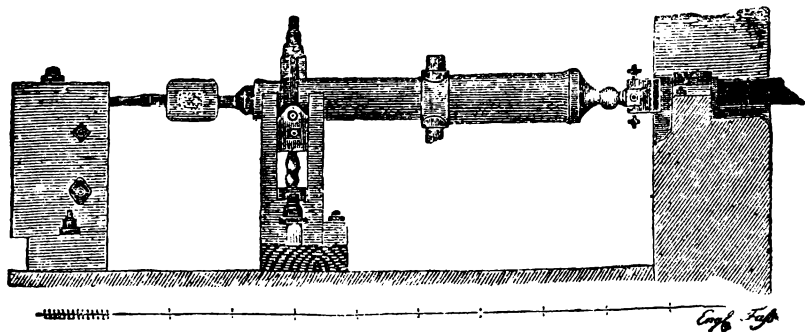


Рис. 56. Опыт Румфорда со сверлением пушки. Штанга соединяет пушку с воротом.

Еще сильнее поразило Румфорда то обстоятельство, что металлические стружки, образовавшиеся при сверлении пушек, нагревались гораздо больше, чем последние. Если бы удельная теплота стружек была меньше, чем у сплошного металла, то нагревание пушек можно было бы объяснить этой разницей в удельных теплотах. Но опыт показал, что сплошные куски металла и тонкие стружки его обладают одинаковой удельной теплотой. Действительно, когда вносили одинаковое количество стружек и сплошных кусков, нагретых до температуры кипения воды, в одинаковые количества холодной воды, то температура последней в обоих случаях поднималась на одинаковую высоту.

Так как в опытах со сверлением были исключены химические процессы, а также возможность притока теплоты извне, то осталось только принять, что причиной образования теплоты является движение. Дальнейшие опыты Румфорда имели целью доказать, что источник теплоты не иссякает, пока продолжается движение. К этому надо прибавить еще первый проблеск мысли, что определенному количеству работы соответствует определенное количество теплоты. Действительно Румфорд взял цилиндр весом в 112,13 фунта, состоящий из пушечного металла, и заставлял его вращаться внутри ящика, в котором заключалось 18,77 фунта воды

¹ „Phil. Transact.“, 25, I, 1793.

(рис. 57). Если для вращения, при котором тупое железное сверло *тл* прижималось к металлу, пользовались силой лошади, то вода в ящике закипала через 2 часа 30 мин. „Изумление окружающих, увидевших, как такая масса воды закипает без огня, было неопи-суемо“, — читаем мы в докладе Румфорда¹. Вычисления показали, что с помощью содержавшейся в воде и кусках металла теплоты можно было довести до точки кипения 26,58 фунта ледяной воды (не считая той теплоты, которая была потеряна во время опыта). Согласно Румфорду это количество теплоты соответствовало 1 л. с. Так как, по выкладкам Уатта, с помощью 1 л. с. можно поднять

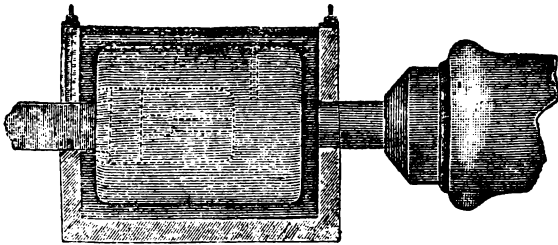


Рис. 57. Деревянный ящик, помещенный перед жерлом пушки. Тупое сверло *тл* прижимается к дну высверленного полого цилиндра, который при помощи короткой шейки соединяется с концом пушки. Рис. 56 и 57 заимствованы из названной в примечании работы Румфорда.

в 1 мин. 33 000 фунтов на 1 фут, то нетрудно дальше вычислить, что количество теплоты, нагревающей 1 фунт воды на 1°, соответствует механической работе в 1 034 футо-фунта. Позднейшие, более точные исследования англичанина Джауля дали для этого эквивалента величину в 772 футо-фунта. Значительная разница между этими двумя цифрами объясняется тем, что Румфорд не

учел потерь теплоты и что затраченная работа лишь грубо соответствовала тому, что Уатт называл лошадиной силой.

Опыты Румфорда обратили на себя всеобщее внимание. Но сделанные им из них выводы натолкнулись на противодействие. На его сторону стали Дэви и Т. Юнг, опиравшийся на опыты Румфорда в своей борьбе против учения о материальной природе теплоты.

„Если, — говорит Румфорд, — мы захотим сделать какие-нибудь, выводы по этому вопросу, то мы не должны забывать, что источник поражаемой при этих опытах трением теплоты является неисчерпаемым. Вряд ли нужно доказывать, что что-то, сообщаемое в неограниченном количестве каким-нибудь изолированным телом, не может быть телесной субстанцией. Мне кажется невозможным составить себе определенное представление о „чем-то“, что, подобно теплоте в вышеуказанных опытах, может быть возбуждаемо и сообщаемо, если не допустить, что это „что-то“ есть движение“.

¹ Румфорд, Исследование теплоты, произведенной трением. Доклад, прочитанный в Королевском обществе наук 25 января 1798 г. Американская академия искусств и наук выпустила в 5 томах великолепное издание всех сочинений Румфорда вместе с биографией его.

В Немецком музее в Мюнхене имеется большая модель воспроизводящая опыт Румфорда со сверлением пушки (отдел теплоты, вал 21).

Не менее убедительным доказательством в пользу неведущей природы теплоты, чем опыт Румфорда, был один произведенный Дэви эксперимент. В своих опубликованных в 1799 г. „Исследованиях о теплоте, свете и дыхании“¹ этот исследователь сообщал, что ему удалось путем трения растопить два ледяных куска при 29° Фаренгейта, т. е. при температуре, лежащей ниже точки замерзания². Хотя удельная теплота воды при температуре 0° больше удельной теплоты льда, но получившаяся таким образом от трения вода обладала температурой в 35° Фаренгейта. Дэви тоже заключил на основании этого, что теплота представляет собой не вещество, а непосредственное следствие движения. Он представлял себе, что материи присущи две силы: сила притяжения и отталкивания. Согласно Дэви, представление которого в основном совпадает с господствующими теперь в науке взглядами, тепловые явления вызываются особым движением частиц тел. От сильного трения все твердые тела расширяются, причем их частицы приходят в колебательное движение и удаляются друг от друга. Различные агрегатные состояния тел Дэви объясняет, тоже совершенно в духе современной физики, из отношения между притяжением и отталкиванием. В зависимости от того, преобладает ли первое, или последнее, или же оба они приблизительно равны между собой, тело находится в твердом, газообразном или же жидком состоянии. Силу отталкивания можно вызвать при помощи химических процессов или путем сообщения движения смежными телами. В последнем случае количество движения, приобретаемое одним телом, в точности равно количеству движения, потерянного другим телом.

Дэви и Румфорд принадлежат к тем предшественникам Майера, Джауля и Гельмгольца, которые имели уже более или менее отчетливые представления об универсальном характере принципа сохранения силы. В пользу этого говорит следующее изречение Дэви: „Невозможно составить себе более возвышенное представление о движении материи, чем представление, что различные виды движения постоянно превращаются друг в друга“.

Еще более ясным образом высказывается Румфорд. В качестве необходимого следствия из своей гипотезы он выдвигает положение, что „сумма живых сил во вселенной должна оставаться одной и той же, несмотря на все действия и противодействия тел“³.

Однако Румфорд и Дэви опередили свою эпоху. Лишь около середины XIX в. развитое ими учение было воскрешено вышеназванными учеными и развито дальше.

»

¹ „Contributions to phys. and medic knowledge, collect, by Beddoes, 1799.

² При произведении этого опыта Дэви поместил два куска льда под воздушным колоколом при температуре ниже точки замерзания и заставлял их тереться друг о друга при помощи часового механизма.

³ R u m f o r d, Mémoires sur la chaleur, Paris, Ann., XIII, стр. 137. Поэтому американские ученые, в частности Эллис (Ellis), приписывали Румфорду первенство открытия закона сохранения силы. Очевидно им остались совершенно неизвестными вполне ясные и очень обстоятельные рассуждения по этому вопросу Лейбница (примечание фон-Лиллмана).

ОТКРЫТИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ, ОБНАРУЖИВАЕМЫХ ГАЗАМИ

В этот период ученые занимались особенно усердно исследованием законов движения жидких и газообразных тел, а также исследованием движения упругих тел, выделившимся в особую дисциплину — акустику. По образцу основанной Ньютоном механики тяготения и для этих отраслей физики строили теории, из которых с помощью математической дедукции выводили законы для явлений природы, стараясь одновременно с этим определить путем экспериментального исследования соответствующие константы.

Дальнейшее развитие принципов термодинамики было связано в особенности с открытием ряда явлений, наблюдающихся у газов при изменении их температуры и объема.

К концу XVIII в. физики обратили внимание на то, что сжатый воздух при расширении охлаждается. Этот факт открыли, когда направили струю вытекавшего из духового ружья воздуха на шарик термометра и заметили при этом падение столбика ртути¹. Этим явлением воспользовались также для объяснения низкой температуры на высоких горах; но в таком общем виде это умозаключение было ошибочно, ибо охлаждение происходит только в момент разрежения газа в связи с какой-нибудь механической работой и теснейшим образом связано с этим процессом. Сам по себе разреженный воздух не холоднее плотного воздуха. Но метеорология могла использовать изменение температуры восходящих и нисходящих воздушных масс для объяснения ряда метеорологических явлений. Какую существенную роль при этом играют установленные новые факты, это видно из того, что сухой восходящий воздух при подъеме на 100 м охлаждается уже на 1°. Наоборот, у опускающегося воздуха температура соответственным образом повышается. Эти температурные колебания имеют в свою очередь решающее значение для относительной степени влажности воздуха.

Впервые систематические исследования температурных колебаний при разрежении и сгущении воздуха произвел Дальтон², но он еще совершенно не догадывался об истинной причине их. Он был убежден, что удельная теплота сгущенного воздуха меньше, чем у разреженного воздуха. Подобная гипотеза должна была приводить к парадоксальному выводу, что наибольшая удельная теплота присуща безвоздушному пространству. В то самое время, когда Дальтон опубликовал свои опыты, ученый мир был в высшей степени поражен открытием, что путем внезапного сгущения воздуха можно довести до температуры загорания такие вещества, как трут³.

¹ Erasmus Darwin (дед Чарльза Дарвина), *Frigoric experiments on the mechanical expansion of air*, „Phil. Transact.“, 1788.

² J. Dalton, *Experiments and observations on the Heat and Cold produced by the mechanical condensation and rarefaction of air*, *Manch. soc. V.*, т. II, 1802.

³ Говорят, что это открытие сделал на оружейной фабрике один рабочий при опытах с духовым ружьем. Rosenberger, „Gesch. d. Phys.“, т. III, стр. 224 (русский перевод, изд. ГТТИ).

Предположение Дальтона, будто это явление объясняется изменением удельной теплоты, было опровергнуто одним решающим опытом Гей-Люссака. Опыт этот заключался в следующем. Сосуд *A* наполняется газом, а из сосуда *B* выкачивают воздух. Если соединить между собой оба сосуда, то объем газа удваивается. Гей-Люссак, ожидавший, что в этом случае наступит охлаждение, был поражен, убедившись, что не произошло никакого изменения в температуре¹. Действительно, устремившаяся в *B* часть газа согрелась ровно настолько, насколько охладилась оставшаяся в *BA* часть его. Таким образом удельная теплота не изменилась от изменения объема.

Так как при расширении газов тратится теплота, то для нагревания газов до определенной температуры приходилось сообщать больше теплоты, если согревание их сопровождалось расширением, чем если оно происходило при постоянном объеме. В последнем случае параллельно с нагреванием заключенного в сосуде газа происходило увеличение его давления.

Теперь оставалось только исследовать, можно ли найти для этого, известного пока с качественной стороны свойства газов и количественный закон, т. е. можно ли установить определенное отношение между количеством расходуемой теплоты при постоянном давлении и соответствующем расширении газа и количеством теплоты при постоянном объеме его. Не вдаваясь здесь в детали исследования, заметим, что это отношение удельной теплоты газа при постоянном давлении к удельной теплоте его при постоянном объеме оказалось равным 1,4:1. Так, для считавшихся тогда постоянными газов получились следующие значения:

Кислород	1,415
Азот	1,420
Водород	1,405
Воздух	1,421

Для прочих газов получились несколько меньшие значения. Так, например:

Углекислота	1,340
Окись азота	1,343

Лишь позже удалось объяснить большее количество теплоты у газа, находящегося под постоянным давлением, учитывая ту работу, которую производит газ в этом случае. Мы увидим ниже, как Роберт Майер определил эквивалент теплоты на основании константы 1,421. Дальнейшему развитию термодинамики вплоть

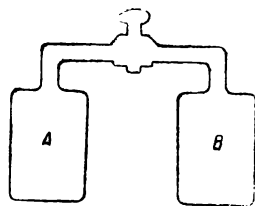


Рис. 58. Опыт Гей-Люссака по термодинамике газов.

¹ „Mém. de la Société d'Arcueil“, I, 180, 1807. Опыт этот явился одной из важнейших основ для теории Роберта Майера (дополнение фон-Липпмана).

до Майера мешала главным образом старая теория вещественного характера теплоты. Изменяющие свой объем тела представляли себе в виде губки, выделяющей при сжатии теплород и всасывающей его обратно при своем расширении¹. Даже Карно (Carnot), с заслугами которого в деле обоснования термодинамики мы познакомимся ниже, придерживался еще теории теплорода. Однако его работа послужила мостом к созданной Майером, Джаулем и Гельмгольцем теории о взаимной превратимости друг в друга теплоты и работы².

¹ Mach, Prinzipien der Wärmelehre, стр. 210.

² В литературном наследии Карно была найдена работа, в которой он вычислил механический эквивалент теплоты (примечание Э. Видемана).



УСПЕХИ ОПТИКИ И ПОБЕДА ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ

Уже Шееле показал, что различные области спектра обнаруживают значительные различия не только с точки зрения теплового действия, как это установил Гершель, но и с точки зрения химических процессов. Шееле внес в спектр кусок бумаги, покрытый хлористым серебром. Было известно, что хлористое серебро постепенно чернеет на свету. Но Шееле заметил¹, что оно чернеет гораздо скорее в фиолетовой части спектра, чем в других частях его. Этот простой опыт можно рассматривать как начало столь высоко развившейся в наше время спектральной фотографии. Аналогия между открытием Шееле и полученными Гершелем результатами стала еще яснее, когда в 1801 г. было доказано существование химически действующих лучей за фиолетовой частью спектра². В этом случае тоже оказалось, что максимум действия лежит за видимой частью спектра, так как разложение хлористого серебра происходило здесь энергичнее, чем в фиолетовой части спектра. Поэтому ультрафиолетовые лучи стали называть с тех пор также химическими лучами.

Год спустя (1802 г.) было сделано еще другое, крайне важное открытие насчет свойств спектра. Англичанин Воластон (Wollaston)³, с успехом изучавший также ультрафиолетовые лучи, заметил, что получающийся позади тонкой щели солнечный спектр пронизан многочисленными темными линиями⁴. В одной из дальнейших глав мы покажем, как Фраунгофер (Fraunhofer) вторично сделал это открытие, положив его в основу спектрального анализа.

ПОБЕДА ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СВЕТА *

В рассматриваемую нами эпоху, во время которой в оптике были сделаны столь многочисленные и важные открытия, был решен

¹ Scheele, Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer (Ostwalds Klassiker, № 58, стр. 54).

² Риттером (Ritter), см. „Gilberts Annalen“, т. VI, 1801, стр. 525.

³ „Phil. Transact.“, 1802.

⁴ Вильям-Гайд Воластон родился в 1766 г. Он был членом Королевского общества и умер в 1823 г. в Лондоне. Воластон открыл родий и палладий. Благодаря изобретенному им способу ковать платину он разбогател и мог жить ни от кого не завися.

* Исторический обзор развития взглядов на сущность света можно найти в Немецком музее в Мюнхене (зал 20, Оптика нового времени). Особый отдел посвящен изготовлению оптических инструментов (зал 20, группа 1).

также старый спор между Ньютоном и Гюйгенсом о сущности света, — решен он был в пользу теории Гюйгенса. Благодаря этому в учении о невесомых была проделана вторая брешь. Первое нападение на теорию истечения сделал на родине ее творца Ньютона Юнг (Young)¹, который заново занялся исследованием цветов тонких пластинок, начатым Гуком и продолженным Ньютоном.

Ньютон наблюдал в однородном свете ряд светлых и темных полос или колец, но не смог объяснить происхождения их, ограничившись простым их описанием. Юнг объяснил это явление встречей лучей, отражаемых обеими ограничивающими поверхностями пластинки. Он обозначил это явление употребляемым еще и теперь названием интерференции и старался доказать, что приращение света к свету может в известных случаях порождать темноту, подобно тому как встреча равных, но противоположных движений, например колебаний с различной фазой, порождает покой.

Юнгу удалось даже доказать, что интерференция имеет место также в невидимой, ультрафиолетовой части спектра. Этого он достиг при помощи следующего опыта². Ультрафиолетовая часть спектра отбрасывалась на тонкую, способную давать цветные кольца пластинку. Отраженные ограничивающими поверхностями невидимые лучи падали на пропитанную раствором хлористого серебра бумагу. Через некоторое время на последней получились знакомые темные кольца. Лежащий в основе этого явления принцип интерференции Юнг формулировал следующим образом:³ „Если две волны различного происхождения распространяются в одинаковом или почти одинаковом направлении, то их совокупное действие заключается в суммировании свойственного каждой из них движения“.

Движения, порождающие свет, происходят согласно Юнгу в разреженном и необыкновенно упругом эфире, заполняющем вселенную. Различие цветов Юнг объяснял различной частотой колебаний, порождаемых в сетчатке этими движениями эфира. Сетчатка, по его мнению, состоит из трех разнородных нервных элементов, вызывающих ощущения трех основных цветов. Раздражение одной группы нервных волокон вызывает ощущение красного цвета, другой — ощущение зеленого, третьей — ощущение фиолетового. Так, например, однородный красный свет будет сильно раздражать нервные волокна, дающие ощущения красного, и только слабо действовать на волокна двух других родов. Если же волокна всех трех родов раздражаются с одинаковой силой, то возникает

¹ Томас Юнг родился в 1773 г. Он читал лекции по физике в Королевском институте в Лондоне и был членом Королевского общества. Он умер в 1829 г. в Лондоне. Юнг был одним из разностороннейших людей на свете. Он был врачом, философом, математиком, физиком, археологом и в то же время светским человеком, пользовавшимся в самых избранных кругах Лондона репутацией пре-красного наездника, музыканта и художника. Юнг, сделавший ряд крупнейших открытий в физике и физиологии, был также одним из первых археологов, которым удалось до некоторой степени разгадать тайну иероглифов.

² „Phil. Transact.“, 1804, стр. 1.

³ Young, On the theory of light and colours, „Phil. Transact.“, 1802, стр. 12.

ощущение белого цвета. Впоследствии Гельмгольц принял и подробнее обосновал это учение Юнга¹.

Согласно Юнгу лучистая теплота, как и свет, вызывается движением эфира. От световых колебаний тепловые колебания отличаются, по его мнению, только длиной волны и соответствующим числом колебаний. Наиболее серьезный недостаток теории Юнга заключался в том, что он, подобно Гюйгенсу, допускал, будто колебательные движения эфира происходят в продольном направлении, т. е. в направлении распространения света. Нетрудно понять, почему первые теоретики волновой теории света сделали подобное допущение, ведь эту теорию строили по аналогии с звуковыми явлениями, которые уже давно считались продольными колебаниями воздушных частиц.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЭФИРА

Указанный недостаток учения Юнга обнаружился особенно резко, когда Малюс (Malus) открыл явление поляризации при отражении света. Как известно, при отражении или преломлении луча света его физические свойства в общем не изменяются: свет таков, будто он исходит прямо от светящегося тела. Правда, в случае преломления происходит обыкновенно разложение сложного белого света, но каждая из его составляющих частей обладает постоянными свойствами, как это доказал Ньютон, составив из этих слагающих обратно белый луч со всеми его прежними свойствами. Но от такого обыкновенного луча радикально отличается, как это знал тот же Ньютон, луч, претерпевший двоякое преломление (это явление было открыто во времена Ньютона у известкового шпата). Действительно, прошедшие через известковый шпат лучи могут проходить, не разлагаясь более, через второй кристалл известкового шпата при известном положении его, между тем как при другом положении этого второго кристалла имеет место вторичное преломление. Указав на это явление, Ньютон сопровождает его замечанием, что, может быть, подобный световой луч обладает различными сторонами, имеющими различные свойства².

Прошло около ста лет, пока случайным образом не было сделано открытие, что подобный поляризованный свет представляет собой вовсе не изолированное явление, наблюдающееся только у известных минералов. В 1808 г. французский физик Малюс³ рассматривал как-то через кристалл исландского шпата освещенные заходящим солнцем окна Люксембургского дворца. Поворачивая

¹ Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, Leipzig 1876, стр. 291 и сл.

² Newton, Optice, Lib. III, Quaestio XXVI: Annon radiorum luminis diversa sunt latera, diversis proprietatibus congenitis praedita?

³ Этьен-Луи Малюс родился в 1775 г. в Париже. Сперва он посещал школу для военных инженеров, а затем Политехническую школу, где на него обратил внимание Монж (о Монже см. стр. 115). Уже тогда Малюс заинтересовался проблемами оптики. Его научная деятельность была прервана египетским походом и другими войнами Наполеона. Впоследствии Малюс преподавал в Политехнической школе в Париже. Он умер в Париже в 1812 г.

кристалл, Малюс заметил к своему изумлению, что яркость получившихся через него изображений изменялась. Сперва он подумал, что солнечный свет подвергся какому-то влиянию при прохождении через атмосферу, но впоследствии он убедился, что единственной причиной поляризации света в данном случае является его отражение¹. Малюс нашел, что при определенном угле, величина которого зависит от природы отражающего вещества, поляризация так сильна, что из двух доставляемых известковым шпатом изображений одно при определенном положении известкового шпата совершенно исчезает. Теория Юнга вследствие вышеуказанного ее недостатка не в состоянии была объяснить этого явления, что доставило огромное удовлетворение Малюсу, непоколебимому приверженцу теории истечения².

Окончательно опровергнута эта теория была лишь французским ученым Френелем (Fresnel)³. Френель начал свои исследования по оптике в 1815 г. В том же году он опубликовал работу о дифракции света, удостоенную премии⁴. Уже в этом исследовании Френель объяснял дифракционные полосы на основании волновой теории света. „Легко понять,—читаем мы также в этой работе,—что колебания двух световых лучей, пересекающихся под очень малым углом, могут нейтрализовать друг друга. Это бывает тогда, когда узлы одного луча совпадают с пучностями другого“. На основании изложенной в этих словах теории интерференции Френель объяснял цвета тонких пластинок. Исключительное значение имели его опыты над интерференцией поляризованных лучей. Они показали, что два поляризованных луча интерферируют только тогда, когда их плоскости поляризации параллельны друг другу. Если же плоскости поляризации были перпендикулярны друг к другу, то явления интерференции совершенно не наблюдались. Этот факт был несовместим с гипотезой о продольном характере колебаний эфира, но был вполне понятен с точки зрения гипотезы о поперечном характере этих колебаний. В случае последней гипотезы два близких друг другу луча не могут влиять друг на друга, так как их колебания происходят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. К теории о том, что свет представляет собой поперечные колебания эфира, Френель пришел в 1820 г. В 1823 г. он опубликовал эту теорию в ее основных чертах⁵.

Волновая теория в той форме, которую придал ей Френель, стала прочным достоянием науки. Ее господство казалось тем более

¹ Sur une propriété de la lumière réfléchié par les corps diaphanes. Доклад этот был прочитан в 1808 г. и опубликован в „Mémoires d'Arcueil“, II, 143, 1809.

² Сочинения Араго, т. 3, стр. 117.

³ Огюстен-Жан Френель родился в 1788 г. в Нормандии. Он посещал Политехническую школу в Париже, в котором и умер в 1827 г. Френель был преподавателем Политехнической школы и членом комиссии маяков. Он сделал ряд усовершенствований в осветительных приборах (призматический аппарат Френеля).

⁴ Fresnel, Mémoire sur la diffraction de la lumière („Annales chim.-phys.“, I, 1861 u X, 1819).

⁵ Mémoire sur la loi de modifications, que la reflexion imprime à la lumière polarisée.

обеспеченным, что при помощи ее удалось не только истолковать открытые впоследствии явления, но и предвидеть новые явления, установленные лишь позднейшими опытами¹.

Развитые Юнгом и Френелем теоретические взгляды нашли ценную поддержку в аналитических исследованиях волнового движения, сделанных крупным французским математиком Коши (Cauchy). Уже в 1815 г. Коши получил большую академическую премию за работу о „Теории волн“. С 1829 г. он опубликовал ряд теоретических исследований, подтверждавших волновую теорию света. Недостатком этой теории было то, что на основании ее не удавалось объяснить явление рассеяния света. Френель показал, что причиной этого является то, что не учтено влияние молекул материи на эфир. Коши удалось заполнить этот пробел и таким образом окончательно установить волновую теорию света. Учтя отношение длины волны к расстоянию между частицами эфира, он установил формулу для скорости света, приводившую к разным коэффициентам преломления для разных цветов. В своих рассуждениях Коши исходил из предположения, что в оптически более плотных средах свет распространяется с меньшей скоростью. Фуко (Foucault) доказал на опыте² правильность этого предположения; эти опыты Фуко, а также произведенные Фраунгофером измерения длины волн³ подтвердили гипотезу Коши и таким образом содействовали успехам теоретической оптики.

УСПЕХИ ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

В течение первой половины XIX в. начало все более и более обнаруживаться революционизирующее влияние, оказанное силой пара на развитие транспорта и промышленности. Поэтому нет ничего удивительного в том, что физики стали больше интересоваться движущей силой теплоты. В связи с этим возникли в начале 20-х годов знаменитые, создавшие эпоху в науке „Размышления о движущей силе огня“ Карно⁴, в которых этот исследователь выступает в качестве предшественника Р. Майера, Джауля и Гельмгольца, творцов механической теории теплоты.

¹ Сюда относятся, например, выведенное Гамильтоном (Hamilton) теоретически и подтвержденное Ллойдом (Lloyd) на опыте с арагонитом явление конической рефракции. О Гамильтоне см. „Poggendorfs Annalen“, т. XXVIII. О Ллоиде см. там же.

² Foucault, Sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau („Annales, chim.-phys.“, XLI, 1854). Таким образом опыт Фуко можно рассматривать как „Experimentum crucis“, т. е. как опыт, имеющий решающее значение в вопросе о правильности той или иной теории (согласно замечанию Э. Видемана).

³ Об этом см. ниже.

⁴ Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feueres und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen von S. Carnot. Übersetzt und herausgegeben von W. Ostwald. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften № 37. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1892. В оригинале работа эта озаглавлена: „Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance par S. Carnot, Paris 1824.“

Сади Карно, сын великого революционера, родился в 1796 г. в Париже. Он был воспитанником Политехнической школы, а впоследствии служил в армии в качестве инженерного офицера. Занимающее нас теперь исследование — единственная опубликованная Карно законченная работа. Он умер еще молодым человеком (1832 г.). Карно обратил внимание на то, что получение движения в тепловых машинах всегда связано с восстановлением теплового равновесия, т. е. с переходом теплоты от тела с более или менее высокой температурой к телу с более низкой температурой. Так, например, в работающей паровой машине теплота, полученная в печи, согревает стенки котла, порождая в нем пар. Пар увлекает с собой эту теплоту в цилиндр, где он производит известную работу, а оттуда в конденсатор. Таким образом в последнем счете холодная вода конденсатора получает теплоту, порожденную сгоранием.

„Повсюду, где имеется разница температур,—говорит Карно,— и где поэтому наступает восстановление теплового равновесия, может получаться движущая сила. Водяной пар служит средством для этого, но он—не единственное такое средство. Для этой цели можно использовать все решительно известные вещества. Все они способны испытывать сокращение и расширение от смены холода и тепла. При этих изменениях объема тела могут преодолевать известные сопротивления и порождать таким образом движущую силу. Если попеременно согревать и охлаждать какое-нибудь твердое тело, например металлический стержень, оно оказывается в состоянии приводить в движение тела, закрепленные на его концах. Благодаря изменениям температуры объем какой-нибудь газообразной жидкости испытывает значительные изменения. Если эта жидкость находится в цилиндре, снабженном поршнем, то она может вызвать значительные движения. Пары всех веществ могут производить ту же работу, что и водяной пар“. Но и обратно, всегда возможно там, где получают движение, вызвать температурные различия. Так, при помощи удара и трения можно повысить температуру тел. Говоря о восстановлении температурного равновесия, Карно имел первоначально в виду лишь движение теплоты, которое он рассматривал как особое вещество. Но, как видно из его литературно-научного наследства¹, он впоследствии отказался от гипотезы постоянства теплоты и определил даже довольно точно механический эквивалент теплоты². К основным понятиям механической теории теплоты принадлежит прежде всего идея Карно о круговом процессе. Карно исходит из того факта, что температура газа увеличивается при сжатии его и, наоборот, уменьшается при быстром расширении его. Поэтому, если желают после сжатия газа довести его до его первоначальной температуры, то у него следует отнять некоторое количество теплоты. Точно таким же образом при рас-

¹ Это литературно-научное наследие было издано братом Карно в 1878 г. вместе с „Размышлениями“ (Paris, Gauthier Villars).

² M a c h, Prinzipien der Wärmelehre, стр. 215.

САДИ КАРНО

1796–1832

ширении газа можно избежать понижения температуры его, если доставить ему некоторое количество теплоты.

С этими фактами Карно соединяет следующее рассуждение, которое можно назвать умственным экспериментом¹, потому что практическое осуществление его возможно лишь приблизительным образом. Пусть A (рис. 59) будет тело с температурой t_1 . Допустим, что температура другого тела B , отделенного от A непроводящим веществом, ниже и равна, скажем, t_2 . Пусть в цилиндре $abgh$ находится упругая жидкость, например воздух, и подвижный поршень cd . Тогда можно вместе с Карно представить себе следующий ряд операций:

1. Допустим, что цилиндр, стенка ab которого легко пропускает теплоту, помещается на более теплом теле A . Под влиянием этого заключенный в цилиндре газ получает температуру t_1 тела A , вследствие чего поршень поднимается от своего первоначального положения cd до положения ef . Так как газ получает при этом теплоту от тела A , то, несмотря на расширение, он сохраняет температуру t_1 .

2. Теперь цилиндр удаляют от тела A , так что ему не доставляется больше теплоты. Если газ будет продолжать расширяться, то в связи с увеличением его объема температура его станет понижаться. Допустим, что она понизится до t_2 , т. е. до температуры более холодного тела B , когда поршень займет положение gh .

3. Цилиндр помещают затем на тело B , а газ, обладающий при положении gh поршня температурой тела B , сжимают. Получившаяся при этом теплота немедленно поглощается телом B , температура t_2 которого должна оставаться постоянной. Для того чтобы температура тел A и B , несмотря на отдачу и получение ими тепла, не изменялась, приходится допустить, что оба эти тела обладают очень большой теплоемкостью.

4. После того как поршень достиг положения cd , удаляют цилиндр от тела B и сжимают газ без отдачи теплоты. Температура заключенного в цилиндре газа теперь поднимется; пусть поршень занимает положение ik , когда температура газа станет снова равной температуре t_1 тела A .

Этим круговой процесс заканчивается. Действительно, если мы поместим теперь цилиндр на тело A , то вышеописанные процессы могут быть повторены вполне тождественным образом неограниченное число раз. Но указанный круговой процесс можно произвести

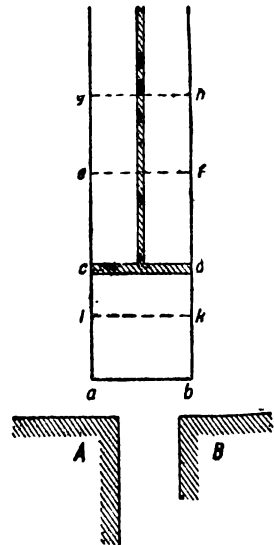


Рис. 59. Объяснение кругового процесса Карно.

¹ М а с h, стр. 218.

и в обратном порядке, заставляя следовать за процессом 4 сперва процесс 3, затем процесс 2 и, наконец, 1. Но в этом случае придется потратить ровно столько „движущей силы“ (работы), сколько ее было получено при протекании процессов в первоначальном порядке (1, 2, 3, 4).

На первых порах на исследование Карно не обратили почти никакого внимания. Только Клапейрон (Clapeyron) признал „безупречную и плодотворную идею, лежащую в основе этого исследования, именно допущение, что невозможно получить из ничего движущую силу или теплоту“¹.

Карно избегал употребления математического анализа. Клапейрон же поставил себе задачей результаты, полученные его предшественником путем ряда довольно сложных рассуждений, вывести более легким способом из некоторого более общего закона, а также дать аналитическое выражение описанным Карно процессам. Одновременно с этим он пользовался графическим методом, исходя, вероятно, из созданной Уаттом индикаторной диаграммы. Так возникла известная схема простого кругового процесса, вошедшая во все учебники механики. Мы передадим ее здесь, основываясь на чертеже самого Клапейрона (рис. 60).

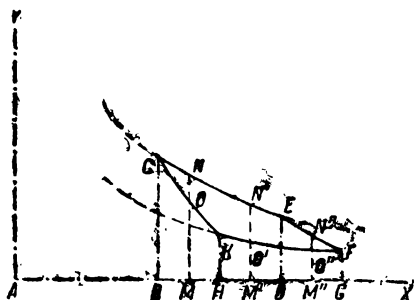


Рис. 60. Простой круговой процесс.

Абсциссы на чертеже соответствуют объему, а ординаты — соответственному давлению газа. Если газ следует закону Мариотта, т. е. если изменения объема совершаются изотермическим образом, так что благодаря доставлению теплоты или отдаче ее температура остается постоянной, то график будет представлять равноугольную гиперболу. Части CE и KF представляют собой отрезки гипербол. Части CK и EF графика соответствуют адиабатическим изменениям, т. е. таким изменениям, когда стенки цилиндра не проводят теплоты, так что газ нагревается или охлаждается в зависимости от того, сжимается ли он или расширяется. После смены изотермических и адиабатических процессов, находящей свое выражение в криволинейной площади $CEFK$, газ под конец снова находится в своем первоначальном положении.

¹ Clapeyron, Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur, Paris 1834, немецкий перевод этого мемуара появился в 1843 г. в „Анналах“ Поггендорфа, т. 59, стр. 446, а также в издании А. Фридлендера (Friedländer), Берлин 1893 г. Этот последний перевод издал Р. Мевес (Mewes). Э. Клапейрон родился в 1779 г. в Париже, где и умер в 1864 г. В течение десяти лет он был инженером и профессором математики в Петербурге. В 1830 г. он вернулся обратно во Францию, где сделал очень многое для развития железнодорожного дела. В ознаменование его заслуг как инженера-механика Клапейрон был избран членом Французской академии наук.

Все значение исследований Карно и Клапейрона было понято лишь тогда, когда был открыт закон эквивалентности теплоты и работы. Ниже мы увидим, что эти исследования имели основоположное значение для механической теории теплоты, в особенности для теоретических работ Клаузиуса.

Почти в то самое время, когда Румфурд и Дэви произвели свои решающие опыты насчет природы теплоты в телах, в учении о лучистой теплоте, которую уже давно стали отличать от теплоты в телах, было сделано важное открытие¹. Вильям Гершель, пользовавшийся при наблюдении Солнца различно окрашенными стеклами, заметил, что позади известных стекол, пропускавших меньше света, по временам наблюдалось более сильное нагревание, чем позади других, более светлых стекол, так что сила нагрева, казалось, не зависела от силы света². Для того чтобы решить вопрос о том, распределена ли равномерно или неравномерно теплота между различными видами лучей, Гершель взял солнечный спектр и стал помещать термометр с зачерненным шариком в различные части его, которые он получал одну за другой, пропуская солнечный свет через отверстие. Другой, расположенный несколько дальше термометр показывал температуру окружающего воздуха³. Гершель сравнивал затем повышение температуры термометра за равные промежутки времени в различных частях спектра; оказалось, что за промежуток времени, в который температура повышалась в фиолетовой части спектра на 2° , она при прочих равных условиях поднималась в зеленой части его на $3\frac{1}{4}^{\circ}$, а в красной части спектра, где повышение ее было максимальным, — на $6\frac{7}{8}^{\circ}$. Гершель продолжал свои исследования и мог уже через месяц⁴ сообщить полученный им замечательный результат, что существует инфракрасная часть спектра, состоящая из невидимых тепловых лучей. Оказалось даже, что максимум теплового действия лежит в этой невидимой части спектра.

¹ См. стр. 59 настоящего тома.

² „Gilberts Annalen“, VII, 1801, стр. 137.

³ „Phil. Transact.“, 27, III, 1800, стр. 255. Investigation on the Powers of the prismatic Colours to heat and illuminate Objects.

⁴ „Phil. Transact.“, 24, IV, 1800, стр. 285. Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the sun.



ХИМИЯ И ФИЗИКА ВСТУПАЮТ В БОЛЕЕ ТЕСНОЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ СОБОЙ

Очень многие из достижений химии и физики в начале новейшего времени связаны с именем Гей-Люссака, так что вполне справедливо выделить личность этого исследователя из среды многих ученых, трудившихся над разработкой и объединением выше-названных наук.

Луи-Жозеф Гей-Люссак родился 6 сентября 1778 г. в одном маленьком городке¹ Центральной Франции. Так как он был одним из лучших учеников Политехнической школы, то химик Бертолле выбрал его своим помощником.

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ

Первое научное открытие Гей-Люссака связано с одним особенным обстоятельством. Исходя из обыденного наблюдения, что нагретым теплым воздухом дым поднимается в камине, братья Монгольфье пришли к мысли заставить подняться бумажный шар, нагревая его помещенным под ним огнем. За их знаменитым опытом от 1783 г., при котором подобный бумажный шар объемом в 22 000 куб. футов, поднялся на высоту приблизительно в 2 000 м, последовали многочисленные другие, более или менее удачные подъемы. Еще в том же году физик Шарль (Charles) пришел к мысли наполнять воздушные шары водородом. Несмотря на это, подобные воздушные путешествия при отсутствии теперешних предохранительных приспособлений являлись на первых порах весьма рискованным предприятием². Когда в начале XIX в. Парижская академия решила организовать подъемы на воздушном шаре с научной целью, то перед ней стал вопрос о выборе с этой целью

¹ St. Léonard in Limousin.

² Первый подъем на монгольфьере предприняли Пилатр де-Розье (Pilâtre du Rozier) и маркиз д'Арлянд (d'Arlandes) 21 октября 1783 г. Первый подъем на наполненном водородом шаре произошел 1 декабря 1783 г. Диаметр этого шара равнялся 26 футам, а объем его—9 200 куб. футам. Подъем этот совершили физик Шарль и механик Робер (Robert). Так как подъемная сила шара лишь немногим превышала 100 фунтов, то они поднялись только на 300 футов. В другой раз Робер поднялся один и достиг высоты 1 500 футов. Это соответствует приблизительно высоте Эгны (3 000 м).

нескольких молодых и мужественных исследователей. Выбор пал на Гей-Люссака и Био (Biot), которые летом 1804 г. и совершили вдвоем подъем на аэростате. Вскоре вслед за этим Гей-Люссак совершил воздушный полет уже один. На достигнутой им в этот раз высоте в 7000 м температура воздуха равнялась $-9,5^{\circ}$, между тем как в то же самое время в Париже находящийся в тени термометр показывал $+27,5^{\circ}$. Согласно произведенным Гей-Люссак анализам состав воздуха в верхних слоях атмосферы был таков же, как и поблизости от поверхности земли. Гей-Люссак доказал также, что на больших высотах воздух не содержит вовсе значительных количеств водородного газа, как это допускали некоторые физики, объяснявшие грозу взрывами гремучего газа. Особенное внимание Гей-Люссак обратил на поведение магнитной стрелки на значительном расстоянии от земной поверхности. Произведенные им наблюдения над колебаниями магнитной стрелки показали, что на высоте в несколько тысяч метров интенсивность магнитной силы не изменяется заметным образом. „Воздушные полеты Био и Гей-Люссака, — писал впоследствии Араго¹, — останутся навеки в памяти людей как первое вполне успешное начинание этого рода, предпринятое для решения научных задач“.

В эпоху, когда Гей-Люссак начинал свою научную деятельность, много спорили о надежности употреблявшихся тогда для анализа атмосферного воздуха методов. В особенности было широко распространено мнение, что процентное содержание кислорода в воздухе, от которого зависит доброкачественность последнего, подвержено колебаниям. Приборы, придуманные для определения количества кислорода в воздухе, назывались поэтому эвдиометрами (измерителями доброкачественности воздуха). Первый эвдиометр был изготовлен Пристли; он был основан на реакции окиси азота с кислородом². В 1774 г. он был усовершенствован Фонтаной (Fontana). Гораздо более точные результаты давал предложенный Лавуазье метод³, заключавшийся в том, что определенное количество воздуха, запечатое ртутью, приводилось в соприкосновение с фосфором. Благодаря медленному окислению фосфора кислород целиком поглощался, а объем воздуха соответственным образом уменьшался. Но ошибки даже этого метода были еще настолько велики, что Лавуазье допускал для содержания кислорода в воздухе колебания в 7%. По существу на том же принципе основывался эвдиометр Вольты. Исследуемый воздух смешивался здесь с достаточным количеством водорода. При взрыве от электрической искры водород соединялся со всем кислородом воздуха, образуя с ним воду.

Александр фон-Гумбольдт также занимался эвдиометрическими исследованиями⁴. В Париже он завязал знакомство с Гей-Люсса-

¹ Сочинения Араго, т. III, стр. 14.

² См. стр. 130 настоящего тома.

³ „Annales de chimie“, IX, 1791, стр. 239.

⁴ A. v. Humboldt, Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises und über einige andere Gegenstände der Naturlehre, Braunschweig, F. Vieweg, 1899.

ком, перешедшее затем в тесную дружбу. Прекраснейшим плодом этого союза была совместная, опубликованная в 1805 г. работа об эвдиометрических методах и о составе атмосферы¹. Эта работа показала, что эвдиометр Вольты представляет ценнейшее орудие для анализа воздуха. Важным побочным результатом было доказательство того, что кислород соединяется с водородом в простом и неизменном объемном отношении 1:2. Согласно прежним опытам Кавендиша это отношение не являлось вовсе простым.

ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ГЕЙ-ЛЮССАКА

В то время как разносторонний Гумбольдт обратился к новым проблемам, Гей-Люссак углубился в изучение газов, насчет физических и химических свойств которых он сделал множество открытий. Первая относящаяся сюда работа Гей-Люссака была сделана в 1802 г. по предложению Бертолле. Она касалась вопроса о расширении газообразных и парообразных тел² и привела к важному не только в практическом, но и в теоретическом отношении результату, что „при одинаковом повышении температуры все газы и пары при прочих разных условиях расширяются одинаковым образом“. Гей-Люссак изучил в этой работе кислород, водород, азот, аммиак, сернистую кислоту, углекислоту и пары эфира. По его измерениям, увеличение объема этих газов при повышении температуры от 0° до 100° равнялось 0,375 первоначального объема. Согласно позднейшим определениям этот коэффициент расширения газов равняется 0,366 (т. е. при повышении температуры от 0° и до 1° равняется $0,00366 = \frac{1}{273}$).

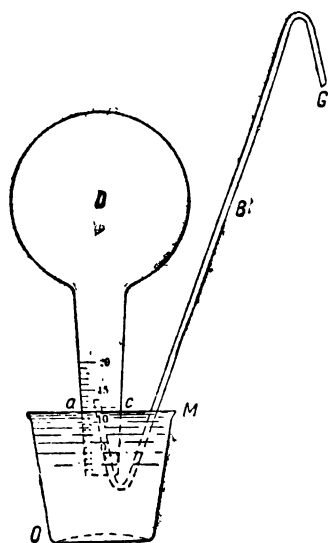


Рис. 61. Прибор Гей-Люссака для определения коэффициента расширения газов.

Произведенное Гей-Люссаком исследование расширения газов отлича-

лось от предшествовавших ему аналогичных исследований тем серьезным преимуществом, что Гей-Люссак предварительно высушивал при помощи хлористого кальция изучавшиеся им газообразные тела, устранив таким образом один существенный источник погрешностей. Если, тем не менее, определение Гей-Люссака

¹ „Journal de Physique“, 60, стр. 129—153. Переведено также в 42-м томе *оствальдовской* серии классиков точного знания. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1893.

² „Recherche sur la dilatation des gases et des vapeurs“ („Ann. chim. et phys.“, XLIII, 1802). Немецкий перевод этого мемуара появился в 44-м томе *оствальдовской* серии классиков точного знания.

отклонилось еще довольно заметно от истины, то это объясняется тем, что взятые им сосуды и газы были еще недостаточно высушены.

Прилагаемый рисунок, заимствованный из мемуара Гей-Люссака, достаточно поясняет метод, применявшийся им при измерении коэффициента расширения газов. Баллон *D*, расположенный над ртутью, заполняется испытуемым газом. Весь прибор (рис. 61) погружается в водяную баню и нагревается до 100° . При этом часть газа улетучивается через двоякоогнутую трубку *B*. После того как баллон нагрелся до температуры кипения воды, трубка *B* удаляется, а водяная баня охлаждается до температуры таящего льда. Вследствие сжатия газа ртуть поднимается затем вдоль градуированной шейки баллона. Таким путем можно определить количество воздуха, удалившегося из баллона под влиянием нагревания. В опытах Гей-Люссака нижеприведенные четыре газа расширялись при нагревании от 0° до 100° следующим образом:

<u>100 частей</u>	<u>расширяются на</u>
атмосферного воздуха	37,5 части
водорода	37,52 "
кислорода	37,49 "
азота	37,49 "

Чтобы определить коэффициент расширения паров, Гей-Люссак нагревал пары эфира от 60 до 100° . При этом он мог с удовлетворением отметить, что пары эфира как при расширении от нагревания, так и при сжатии от охлаждения изменяли свой объем вполне тождественно с атмосферным воздухом, исследовавшимся параллельно при тех же условиях в другом приборе.

Из своих опытов Гей-Люссак сделал тот вывод, что расширение газов и паров зависит не от особенной природы этих тел, но лишь от того, что они находятся в упруго-жидком состоянии¹.

В рассматриваемом исследовании Гей-Люссака нет никакого указания на то, что им учитывалось расширение стеклянного сосуда, в котором содержались изучавшиеся им газы. Этот фактор был принят во внимание Гей-Люссаком в последующем исследовании. Несмотря на это, найденный им коэффициент расширения при нагревании газов от 0° до 100° (0,375), принимавшийся всеми учеными в течение почти сорока лет, заметно отличается от истинного значения (0,366).

ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ОБЪЕМОВ

Союз между Гей-Люссаком и Александром Гумбольдтом стал особенно тесным благодаря совместному предпринятому ими в 1805 г. путешествию в Италию. Из Рима, где друзья изучали сокровища искусств при содействии Рауха (Rauch) и Торвальдсена (Therwald-

¹ Ostwalds Klassiker, № 44, стр. 24.

sen), они совершили экскурсию в Неаполь в сопровождении геолога Леопольда фон-Буха (v. Buch); здесь они были свидетелями грандиозного извержения Везувия, сопровождавшегося страшным землетрясением. Путешествие это не оказалось бесплодным и для химии. Так, Гей-Люссак сделал в Неаполе открытие, что растворенный в воде воздух содержит значительно больший процент кислорода (примерно 30%), чем атмосферный воздух (21%)¹. Посетив еще перед отъездом из Италии Вольту, друзья отправились в Берлин, где оба провели зиму в доме Гумбольдта. Вернувшись в Париж, Гей-Люссак занялся прежде всего опытной проверкой своего предположения, что не только водород и кислород, но и все другие газы соединяются между собой в простых объемных отношениях.

Гей-Люссак взял сперва хлористый водород и соединил его с аммиачным газом. Оказалось, что 100 единиц хлористого водорода насытили в точности 100 единиц аммиачного газа, причем возникающая в результате соединения соль была вполне нейтральной². Соединяя углекислый газ с аммиаком, он убедился, что 100 объемных единиц первого соединялись в точности с 200 единицами аммиачного газа. Далее оказалось, что серный ангидрид содержит на 100 единиц объема двуокиси серы 50 единиц кислорода, так что и оба этих газа соединяются между собою в простом отношении³.

В другом опыте 50 единиц объема кислорода соединялись со 100 единицами объема газообразной окиси углерода. Оба эти газа исчезли полностью, а на их место получилось 100 единиц объема углекислого газа. Уже до Гей-Люссака Бертолле показал, что в аммиаке на 100 единиц объема азота приходится в точности 300 единиц водорода.

После этих опытов стало очевидным, что два газа, вступающие в химическое взаимодействие, соединяются между собой в весьма простых объемных отношениях. В вышеприведенных случаях эти объемные отношения равнялись 1:1, или 1:2, или 1:3, между тем как нельзя было найти никакого простого весового отношения между элементами соединения.

Дальнейшие опыты показали, что не только газы соединяются между собой в весьма простых отношениях, но что и уменьшение объема, испытываемое газами при их соединении, находится постоянно в очень простом отношении к объемам этих газов до их соединения⁴. Так, уже Бертолле нашел, что 100 единиц газообразной окиси углерода в соединении с 50 единицами кислорода дают 100 единиц углекислого газа⁵. Таким образом оба газа сокраща-

¹ Уже Шееле знал, что кислород более растворим, чем азот; см. стр. 136 настоящего тома.

² $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$ (нашатырь).

³ $\text{SO}_2 + \text{O} = \text{SO}_3$.

⁴ „Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres“ (Mém. de la société d'Arcueil, 1809). Переведено и издано в оствальдовской серии классиков точных наук, № 42, Лейпциг, Энгельман, 1893 г.

⁵ $\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2$.

ются после соединения на объем, в точности равный объему, который занимал кислородный газ. Точно так же водяной пар, образующийся путем соединения двух объемных частей водорода и одной объемной части кислорода, занимает при равных температуре и давлении 2 единицы объема, так что при возникновении его получается уменьшение объема от 3 до 2, между тем как при образовании аммиака получается сокращение объема от 2 до 1. Этот открытый Гей-Люссаком закон объемов лег в основу гипотезы Авогадро (Avogadro) и через нее и всей теоретической химии¹.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ГАЗОВ И ПАРОВ

Дальнейший толчок развитию физики газообразных тел был дан главным образом исследованиями о поглощении газов жидкостями. Прежде всего английский химик Генри (Henry)² нашел, что поглощенное какой-нибудь жидкостью количество газа при прочих равных условиях пропорционально давлению, при котором происходит поглощение. При этом предполагается прежде всего, что газы и жидкости не действуют химически друг на друга³.

Исследование Генри было продолжено Дальтоном в его мемуаре „О поглощении газов водой и другими жидкостями“⁴. Работа эта в историческом отношении интересна еще и потому, что в ней содержится первая таблица атомных весов. Дело в том, что Дальтон пытался вывести различную растворимость газов на основании созданной им атомной теории.

Признаком того, что какой-нибудь газ только поглощается жидкостью, а не соединяется с ней, служило для Дальтона то обстоятельство, что в первом случае, если прекратить давление при помощи воздушного насоса, газ снова удаляется из жидкости.

Дальтон дополнил исследование Генри в том отношении, что распространил его на смеси газов. Так, например, если встряхивали свободную от воздуха воду со смесью двух или нескольких газов, то она поглощала такое количество каждого из этих газов, какое она поглотила бы в отдельности при той же плотности каждого газа. Однако в установленных здесь Дальтоном закономерностях мы встречаемся иногда с простыми приближениями, иногда же они просто неверны⁵.

В заключение Дальтон поднимает вопрос о причине столь различной для различных газов растворимости. Крайне любопытно проследить за тем, как Дальтон пытается ответить на этот вопрос, исходя из своей атомной теории. Он нашел, как мы знаем, что от-

¹ Согласно гипотезе Авогадро в единице объема всех газов содержится—при одинаковом давлении и одинаковой температуре—одно и то же число молекул. См. мемуар Авогадро от 1811 г. в оствальдовской серии классиков точного знания, т. 8, Лейпциг, 1889.

² Вильям Генри родился в 1775 г. в Манчестере, умер в 1836 г.

³ „Phil. Transact.“, 1803 и „Gilberts Annalen“, XX, стр. 147.

⁴ Немецкий перевод этого мемуара вышел в виде 3-го тома классиков точного знания. Лейпциг, 1889.

⁵ См. стр. 162 настоящего тома.

носительный вес мельчайших частиц тел весьма различен. А теперь оказалось, что газы, обладающие более легкими частицами, поглощаются с большим трудом. Это обстоятельство делает вероятным, что растворимость причинно связана с атомным весом.

Дальтон был также одним из первых ученых, производивших измерения давления газов и паров. Так он нашел, что давление влажного воздуха равно давлению сухого воздуха плюс давление примешанного к нему водяного пара. И это исследование Дальтон распространил на смеси газов. Он заметил, что различные газы целиком смешиваются между собой даже тогда, когда легкий газ находится над более тяжелым газом (явление диффузии). Далее, он показал, что давление газовой смеси, отнесенное к одинаковому объему, равно сумме давлений отдельных составных частей смеси. При этом опять-таки предполагается, что имеет место физическое смешение, а не химическое соединение.

Наконец, Дальтон пытался определить зависимость давления насыщенных паров от температуры. Применявшийся им при этом метод употребляется еще и в настоящее время. Жидкость, которая должна была быть превращена в пар, он вводил в торическую пустоту барометра. Затем он помещал барометр в стеклянную трубку и доводил его до желаемой температуры при помощи нагретой воды. Давление образовавшихся паров измерялось опусканием ртутного столба. Если же давление паров превышало давление 1 ат , то Дальтон пользовался трубкой с одним коротким замкнутым коленом и длинным, открытым, как это делал Мариотт для доказательства открытого им и Бойлем закона. Жидкость, давление паров которой желали измерить, нагревалась в коротком закрытом колене, давление же паров ее измерялось в длинном колене на основании высоты ртутного столба. Первые предпринятые в этой области исследования не могли, конечно, претендовать на особенно большую точность. Они заслуживают, однако, упоминания, потому что принцип их лег в основу позднейших, более точных измерений.

С особенной точностью Дальтон определил отношение между температурой и давлением у насыщенного водяного пара. Измерения свои он производил в широких границах между -40° и $+325^\circ \text{ F}$. Он полагал, что связь между температурой и давлением можно выразить в виде геометрической прогрессии. Впоследствии, однако, оказалось, что существующая здесь закономерность не выражается такой простой математической формулой.

УСПЕХИ ХИМИИ В НАЧАЛЕ XIX ВЕКА

Теперь мы переходим к наиболее замечательным исследованиям, содействовавшим в эту эпоху прогрессу неорганической, технической и органической химии.

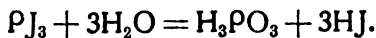
Когда во Франции узнали об открытии щелочных металлов, то Наполеон предоставил в распоряжение Политехнической школы средства, необходимые для изготовления мощного вольтова столба. Но еще прежде чем столб этот мог начать функционировать, Гей-

Люссаку в сотрудничестве с Тенаром (Thenard) удалось получить калий и натрий чисто химическим путем, без помощи электричества, путем нагревания едкого кали и едкого натра вместе с железом¹. Оба исследователя опубликовали свой метод в мае 1808 г. Вместо железа они пользовались также углем, но результаты при этом были несколько менее благоприятны. Лучше удавалось получение калия и натрия при помощи угля, когда смешивали углекалиевую соль с углем и льняным маслом и доводили эту смесь до температуры каления².

Классический мемуар Гей-Люссака о иоде и его соединениях является одной из лучших монографий, написанных когда-либо о каком-либо элементе. В этом мемуаре Гей-Люссак выдвинул понятие гидрокислоты (водородной кислоты) в противоположность кислоте, образованной при помощи кислорода. Гей-Люссак показал, что иод дает двоякого рода кислоту, из которых одна представляет собой соединение иода с кислородом, а другая—соединение его с водородом. Так как кислоты, образуемые хлором, иодом и серой с водородом³, обладают свойствами кислот, содержащих кислород, то оба эти вида соединений приходилось объединить в одном классе. Но чтобы отличить водородные кислоты от кислот в собственном смысле слова, Гей-Люссак пользовался приставкой „гидро“. Таким образом кислые соединения водорода с хлором и иодом получили названия гидрохлористой кислоты (хлористого водорода) и гидроиодистой кислоты (иодистого водорода). Для кислых же соединений кислорода с этими же самыми элементами сохранилось название хлорноватой кислоты и иодноватой кислоты⁴.

Из многочисленных соединений, приводимых Гей-Люссаком в его мемуаре о иоде, надо упомянуть в особенности о иодистом этиле, веществе, которое, благодаря своей значительной способности к химическим реакциям, приобрело крупное значение для органической химии.

Из важных реакций, к которым привело Гей-Люссака изучение иода, надо упомянуть еще соединение иода с фосфором—трииодистый фосфор, который под действием воды распадался на иодистый водород и фосфористую кислоту:



При соприкосновении с ртутью иодистый водород распадался, причем образовывалась иодистая ртуть, а водород выделялся. При этом наблюдалось, что объем водорода в точности равнялся половине объема, который занимал до того иодистый водород.

Если иодистый водород доводили до температуры красного каления, то происходило частичное разложение его на иод и водород. С другой стороны, когда Гей-Люссак нагревал смесь иода и

¹ Корр. Geschichte d. Chemie, IV, стр. 13.

² Подробнее об этом см. Корр, Gesch, d. Chemie, IV, стр. 13.

³ HCl, HI, H₂S.

⁴ HClO₂ и HIO₂, ангидриды кислот которых суть Cl₂O₅ и J₂O₅.

водорода до температуры красного каления, то происходил синтез их с образованием иодистого водорода. Это было одно из первых наблюдений над обращением химических реакций. Однако Гей-Люссак не обратил на него особенного внимания.

Сходство иодистого водорода с соляной кислотой обнаружилось также при изучении реакций между этими соединениями и металлами. Последние содействовали выделению из этих соединений водорода с образованием солеобразных тел. Иодистый водород соединялся с аммиаком, причем образовывалось тело, аналогичное нашатырю. Соединение происходило в равных объемах, так что во всех отношениях наблюдалась столь далеко идущая аналогия между новооткрытым иодом и уже давно известным хлором, какой до тех пор еще не замечалось между двумя элементами. Эта аналогия была впоследствии распространена на бром, открытый в 1826 г. Баларом (Balard) в маточном рассоле морской воды. Сравнение хлора, брома и иода привело вслед за тем Деберайнера (Döbereiner) к его теории триад, т. е. к предположению, что систему элементов можно расположить в виде групп из трех весьма сходных элементов каждая. Благодаря этой идее Деберайнер стал основателем систематики элементов и в связи с этим предшественником Менделеева и Лотара Мейера.

Открытие аналогии между хлором и иодом заставило ученых отказаться от господствовавшей долгое время гипотезы, будто хлор представляет собой кислородное соединение¹. Но если реакции между иодом и другими элементами и соединениями были весьма сходны с обнаруживаемыми хлором реакциями, то все же из всего исследования Гей-Люссака вытекало, что хлор „сильнее иода“.

При определении плотности паров иода Гей-Люссак исходил из плотности иодистого водорода. Основываясь на открытом им законе объемов, он нашел, что пары иода в 117 раз плотнее водорода, являясь наиболее плотными из всех паров².

Работы Гей-Люссака о серной кислоте, заводскому изготовлению которой он значительно содействовал благодаря введению так называемой гей-люссаковой башни, а также основанный им метод титрования оказали огромное влияние на развитие химической технологии.

Гей-Люссак значительно подвинул также химию органических соединений. В анализе этих веществ, находившемся еще до него в зачаточном состоянии, он ввел способ сжигания с окисью меди, а его работа о дианистых соединениях стала образцом для всех позднейших исследований органических веществ³. Гей-Люссак доказал в этой работе, что полученная Шееле из железистосинеродистого кали синильная кислота HCN представляет собой аналогичную хлористому водороду HCl гидрокислоту, в которой место хлора занимает состоящий из углерода и азота радикал CN, получивший

¹ См. стр. 157 настоящего тома.

² Ostwalds Klassiker, № 4, стр. 9.

³ Gay-Lussac, Recherches sur l'acide prussique, „Annales de chim.“, 1815, стр. 136, 231.

название циана. Доказав, далее, что этот радикал и в других соединениях играет роль элемента, Гей-Люссак этим открыл ряд исследований, имевших целью свести все органические соединения к расположению атомов в известные атомные группы. Эта тенденция достигла своего кульминационного пункта в деятельности Либиха, наставившего органическую химию химией сложных радикалов¹.

Гей-Люссак занимался также процессом брожения, на который пролили первый свет исследования Лавуазье². Гей-Люссак установил одно весьма близкое к истине химическое равенство. При применении теперешних формул оно имеет следующий вид:



Впоследствии (в 1860 г.) Пастер (Pasteur) доказал, что существенными продуктами брожения, кроме углекислоты и алкоголя, являются глицерин и янтарная кислота.

Как упомянуто, Гей-Люссак окончил Политехническую школу, в которой он был сперва репетитором, а затем (1809 г.) профессором химии. Одновременно с этим он был профессором физики в Сорбонне. Гей-Люссак занимал также выдающееся место в общественной жизни Франции. Он был членом многочисленных хозяйственных и административных комиссий, в которых пользовался величайшим авторитетом ввиду своих обширных познаний в области физики и химии. Он неоднократно избирался депутатом, а под конец был назначен пэром. Незадолго до смерти он сжег незаконченное сочинение, носившее название „Философия химии“.

Гей-Люссак умер 9 мая 1850 г. Жизнь его была богата научными триумфами, добытыми путем непрерывной работы; но и во всех других отношениях она может служить примером. Араго, произнесший в заседании Академии наук речь в память Гей-Люссака, закончил ее следующими хвалебными словами: „Он сделал честь Франции своими нравственными качествами, а этой Академии — своими открытиями. Во всех странах, где интересуются процветанием наук, имя его будет произноситься с восхищением и почтением“³.

РЕФОРМА АНТИФЛОГИСТОННОЙ ТЕОРИИ

Лавуазье выставил положение, что кислород является началом, образующим кислоты, и что этот элемент имеется всегда налицо в солях и кислотах. Теория Лавуазье о кислородных кислотах нашла в начале XIX в. особенно усердного защитника в лице Берцелиуса. Берцелиус создал дуалистическую систему химических соединений, основывавшуюся на результатах электролиза. Согласно

¹ Liebig, Handbuch der organischen Chemie, стр. 1.

² См. стр. 150 настоящего тома.

³ Соч. Араго, т. 3, стр. 57.

этой теории, например, серноцинковая соль изображается формулой $ZnO \cdot SO_3$, которая должна показывать, что это соединение состоит

из положительного основания ZnO и отрицательной серной кислоты SO_3 . То, что мы теперь называем кислотой и в чем мы видим единое соединение, рассматривалось тогда как гидрат кислоты. Так, например, серная кислота H_2SO_4 рассматривалась как соединение отрицательной составной части SO_3 с слабо электроположительной водой ($SO_3 \cdot H_2O$). Воде приписывалась двойственная природа, так как

по отношению к сильно положительным окисям металлов она входила в образование основных гидратов в качестве отрицательной составной части ($CuO + H_2O = CuO \cdot H_2O$).

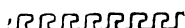
Первый удар учению Лавуазье нанес его великий современник Бертолле. Он нашел, что синильная кислота HCN , а также сероводород H_2S обладают определенно свойствами кислот и, однако, не содержат вовсе кислорода. Бертолле мог бы прибавить к этим соединениям также соляную кислоту HCl , если бы он не считал хлора кислородным соединением¹. В пользу этого заблуждения, господствовавшего в химии в течение десятков лет, он привел даже, как казалось ему, серьезное доказательство в виде неправильно истолкованного им наблюдения, что из раствора хлора получается на свету кислород. Бертолле заключил из этого наблюдения, что хлор как высшая ступень окисления распадается на кислород и соляную кислоту, содержащую якобы меньше кислорода, между тем как в действительности процесс этот представляет разложение воды ($2Cl + H_2O = 2HCl + O$). Третьей ступенью окисления считали тогда очень богатое кислородом соединение, которое мы называем теперь хлорноватой кислотой.

Другое изменение в систему Лавуазье внес Дэви. Дэви нашел, что газ соляной кислоты разлагается при помощи открытого им калия, причем выделяется водород, а в результате получается хлористый калий. Далее Дэви показал, что соляная кислота не образуется из хлора путем удаления кислорода, а что наоборот, соляная кислота образуется из хлора, когда этот элемент действует на водород или на содержащее водород соединение. Эти факты заставили Дэви принять, что хлор представляет собой элемент, а соляная кислота представляет соединение хлора с водородом; соли же соляной кислоты заключаются в соединении хлора с соответственными металлами. Вскоре после этого Гей-Люссак показал то же самое для иода и иодистого водорода. Показав также, что кислород не входит в состав синильной кислоты, Гей-Люссак ввел для кислот, составленных подобно синильной кислоте, название водородных кислот. Однако часть химиков, во главе которых стоял Берцелиус, упорно придерживалась старого учения. Только около 1820 г. Берцелиус отказался от сопротивления, ибо гипотеза, что в галоидах и их солях содержится кислород, которого нельзя,

¹ Об этом см. стр. 157 настоящего тома.

однако, обнаружить экспериментальным образом, стала представляться слишком искусственной.

Рядом с хлором в качестве аналогичного ему элемента Гей-Люссак поместил иод. В 1826 г. Баллар открыл бром в маточном рассоле морской воды. Немедленно после этого он предпринял тщательное исследование этого элемента и установил, что он вполне аналогичен хлору и иоду. Ампер первый высказал предположение, что фтор тоже относится к этой группе и что фтористый водород представляет собой соединение, как и хлористый водород. Ввиду необычайной способности фтора к химическим соединениям попытки изолировать его не имели вначале никакого успеха. Неудачу потерпели здесь также Дэви и Гей-Люссак. Только Муассану (Moissan) удалось при помощи электролиза выделить фтор. Так или иначе, но уже в течение первых десятилетий XIX в. все четыре галоида были выделены как особая, характерная группа элементов. Изучение свойств галоидов имело огромное значение для дальнейшего развития теоретической, а также технической химии.



ДОСТИЖЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ МАТЕМАТИКИ К ЕСТЕСТВОЗНАНИЮ

Как мы видели, работы в первую очередь Гей-Люссака, а затем также Дальтона, Дэви и многих других ученых содействовали взаимному проникновению и параллельному развитию физики и химии. Аналогичное этому влияние на взаимодействие между физикой и математикой оказали в эту эпоху работы главным образом Фурье и Гаусса.

ОТКРЫТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

Основоположное значение для аналитического рассмотрения физических процессов имела работа Фурье, в которой он первый вывел математические законы распространения теплоты. В качестве математика Фурье¹ прославился своим методом решения численных уравнений, а также работами о бесконечных тригонометрических рядах. В тригонометрических рядах он нашел аналитическое средство для решения главнейших проблем учения о теплоте. При этом Фурье обходился без каких бы то ни было гипотез о сущности теплоты, ибо благодаря полученным им дифференциальным уравнениям распространения теплоты физические вопросы сводятся к чисто аналитическим проблемам. В своей работе Фурье руководился идеей, что теоремы механики не имеют никакого применения к области учения о теплоте и что вообще тепловые явления представляют собой совершенно особый класс явлений, которых нельзя вывести из принципов равновесия и движения. Впрочем, Фурье признает все же известный параллелизм между теорией теплоты и механикой, так как его методы примыкают к методам, употребляемым в статике и динамике.

¹ Жан-Баттист-Жозеф Фурье (Jean Baptiste Joseph Fourier), один из величайших французских математиков, родился в 1768 г. в Оксерре и умер в 1830 г. в Париже. Фурье был сыном бедного ремесленника. Благодаря своим рано обнаружившимся талантам он сумел выбиться из бедности. Он стал преподавателем математики, а впоследствии профессором Политехнической школы. Фурье принадлежал к группе ученых, сопровождавших Наполеона в Египет.

Свою теорию¹ Фурье сообщил в 1807 и 1811 гг. Парижской академии наук, назначившей ему за нее премию. Немецкое издание работы Фурье опубликовал Б. Вайнштейн (Weinstein)².

В своем исследовании Фурье исходит из предположения, что теплота распространяется в телах по совершенно определенным законам, и ищет математическое выражение этих законов. Фурье сознавал также космологическое значение этой проблемы и задавал себе, например, вопрос, по каким законам передается в мировое пространство заключенная еще в глубинах земли теплота и какими математическими формулами выражается излучение теплоты.

Физической предпосылкой этих исследований является предположение о тенденции теплоты, с одной стороны, распространяться равномерно в теле, а, с другой, излучаться через его поверхность. Полученные теоретические результаты Фурье проверил путем точных, многократно изменявшихся им опытов, вполне подтвердивших его теорию. Так, например, и математические выкладки и опыт приводят к следующему закону насчет количества теплоты, проходящей через толстую плоскую пластинку: для единицы площади, параллельной ограничивающим плоскостям, это количество теплоты прямо пропорционально разнице температур обеих этих плоскостей и обратно пропорционально толщине пластинки.

К большинству своих результатов Фурье пришел путем метода суммирования бесконечных тригонометрических рядов, метода, на котором мы не можем здесь останавливаться подробнее. Таким путем решается ряд специальных проблем, например, вопрос о радиальном распространении теплоты в шаре, о распространении теплоты в цилиндре, о распространении ее в теле, бесконечно протяженном во всех направлениях, и т. д.

Более точным образом Фурье исследовал охлаждение шара, чтобы получить на основании этого выводы насчет векового охлаждения земли. Он пришел к заключению, что если температура увеличивается по мере приближения к центру³, то должен существовать первоначальный запас теплоты в центре. Благодаря существованию этого первоначального запаса теплоты прирост температуры должен по Фурье происходить тем медленнее, чем больше мы приближаемся к центру земли. Из выкладок Фурье вытекало, что на глубине приблизительно в 20 000 м земля должна быть раскалена⁴ и что тем не менее влияние земной теплоты на поверхность нашей планеты выражается только в едва заметной дроби градуса. Температура мирового пространства равняется по Фурье — 50° по Цельсию.

РАБОТЫ ГАУССА И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ АСТРОНОМИИ И ФИЗИКИ

В то самое время, когда Фурье производил свое классическое исследование, появились работы Гаусса, приведшие к тесному взаи-

¹ *Theorie analytique de la chaleur*, Paris 1822.

² Berlin, J. Springer, 1884.

³ „Bulletin des sciences“, 1820, стр. 58.

⁴ См. цит. соч.

мопроникновению естествознания и математики. Гаусс является величайшим немецким математиком. Поэтому мы остановимся также вкратце на его математических работах.

Карл-Фридрих Гаусс родился 30 апреля 1777 г. в Брауншвейге. Отец его, строительный мастер и кассир, был, как нам его описывают, очень энергичным человеком с твердой волей. Мать Гаусса, происходившая, как и отец, из семьи простых ремесленников, была трудолюбивой и заботливой хозяйкой. Несмотря на все свои положительные качества родители рано созревшего мальчика не смогли добиться благосостояния. Поэтому Гаусс не мог бы избрать ученой карьеры, если бы на 14-м году жизни ему не пришел на помощь герцог Фердинанд Брауншвейгский. Окончив гимназию своего родного города и тамошнюю Collegium Carolinum, Гаусс в 1795 г. поступил в Геттингенский университет. Этому университету Гаусс остался верен до конца своей жизни, несмотря не все заманчивые предложения, исходившие из Берлина и Петербурга.

Гаусс учился главным образом на творениях Ньютона, Эйлера и Лагранжа. В студенческие годы (1795—1798) он сделал уже несколько выдающихся математических открытий. Так, занимаясь проблемой деления круга, он, не имея еще 18 лет от роду, нашел построение правильного 17-угольника при помощи приемов элементарной геометрии. Важным вкладом в алгебру был его появившийся в 1799 г. мемуар „Разложение целых алгебраических функций на вещественные множители первой или второй степени“¹. Гаусс доказывал здесь, что всякое уравнение m -й степени, т. е. выражение вида:

$$X^m + Ax^{m-1} + Bx^{m-2} + \dots + M = 0,$$

обладает всегда m корнями или — что одно и то же — оно может быть разложено на m множителей, $(x - \alpha)$, $(x - \beta)$, $(x - \gamma)$ и т. д., произведение которых тождественно равно левой стороне вышеприведенного выражения. Уже Даламбер, Эйлер и другие математики занимались этой важнейшей теоремой теории алгебраических уравнений, на которой покоится вся высшая алгебра. Но совершенно строгое доказательство ее удалось впервые только Гауссу.

Два года спустя вышло главнейшее арифметическое произведение великого математика „Disquisitiones arithmeticae“ (1801 г.). Произведение это, которое он посвятил своему высокому покровителю, герцогу Фердинанду Брауншвейгскому, легло в основу теории чисел. Некоторые отделы этого произведения вышли в немецком переводе².

¹ Немецкий перевод этого мемуара Гаусса, сделанный Э. Нетто (E. Netto), появился в 14-м тонике оствальдовской серии классиков точного знания, стр. 3—36. Гаусс возвращался к этой же самой проблеме еще три раза. Все четыре работы помещены в 14-м тонике оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг.

² „Erster und zweiter Beweis der Fundamentaltheorien über quadratische Reste“. Вышел в 122-м тонике оствальдовской серии классиков точного знания под редакцией Э. Нетто, Лейпциг 1901.

КАРЛ ФРИДРИХ ГАУСС
1777–1855

В том самом году, в котором появились „Disquisitiones“ несравненного ученого, внимание его привлекли к себе проблемы астрономии. 1 января 1891 г. Пяцци открыл первый планетоид, который он назвал Церерой. Пяцци мог проследить новое светило на протяжении дуги в 9° , затем планетоид исчез в вечерних сумерках, и было очень сомнительно, удастся ли снова найти его при скудости сведений об элементах его орбиты. Гаусс услышал об этой проблеме и, так как он в это время как раз занимался проблемами теоретической астрономии, то он вычислил орбиту новой планеты по собственному методу и послал результаты своих выкладок в один астрономический журнал¹, в который стекались и который опубликовывал все посылавшиеся ему вычисления насчет Цереры. Было очень важно знать эфемериду этой планеты до того момента, когда можно было ожидать ее выступления из лучей солнца. Эфемериды Гаусса была опубликована с мало лестным редакционным примечанием, что редакция считает целесообразным напечатать и ее, ибо нельзя знать, чьи выкладки правильны.

Можно представить себе всеобщее изумление, когда Церера была вновь найдена на основании эфемериды совершенно еще неизвестного тогда астрономом Гаусса. Теперь оставалось исправить элементы орбиты этой планеты. И опять-таки именно Гаусс после каждого ознакомления с новыми датами посылал в упомянутый астрономический журнал улучшенные элементы орбиты. И редакция должна была не без некоторого смущения высказать под конец предположение, что Гаусс обладает, очевидно, совершенно новым методом, позволяющим ему находить быстро то, для чего иначе потребовались бы обширные выкладки. На этот раз редакция угадала. Действительно, Гаусс уже обладал тогда своим методом наименьших квадратов, позволявшим ему определить на основании ряда наблюдений наиболее близкое к истине значение какой-либо величины. Далее, он нашел новый астрономический метод, благодаря которому он мог в течение одного часа произвести вычисление орбиты, для которого еще Эйлеру требовалось три дня². Но эти новые методы Гаусс опубликовал лишь тогда, когда (1807 г.) он был назначен профессором математики и директором геттингенской обсерватории. Работа, в которой он опубликовал эти методы, вышла под названием „Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium“. Немецкий перевод этого фундаментального произведения (которое Гаусс, впрочем, первоначально написал на немецком языке) появился лишь в 1865 г.³ С опубликованием этого творения для вычислительной астрономии началась новая эра. Все ученые отказались от прежних методов в пользу методов Гаусса. В „Theoria motus“ Гаусс обнародовал также свой

¹ Zachs astronomische Korrespondenz.

² Gauss Werke, т. 6, стр. 65.

³ Перевод этот, сделанный Гаазе (Haase), вышел в Ганновере. Немецкое название произведения Гаусса гласит: Theorie der Bewegung derjenigen Himmelskörper, die sich um die Sonne in Kegelschnitten bewegen („Теория движений небесных тел, движущихся вокруг солнца по коническим сечениям“).

метод наименьших квадратов, которым он обладал уже, как сам указывал, в 1795 г. Следует, однако, заметить, что одновременно этот самый метод был открыт и Лежандром, формулировавшим его в 1806 г. в следующих выражениях¹: „Если наблюдения дают больше уравнений, чем требуется определить неизвестных, то наиболее правильными значениями последних будут те, для которых сумма квадратов погрешностей равняется минимуму“. Французы поэтому заявили притязания на приоритет открытия этого метода. Если считаться только с датой опубликования, то они, конечно, правы, но Гауссу принадлежит, однако, та заслуга, что он открыл самостоятельно и — согласно его собственным указаниям — гораздо раньше этот метод; кроме того, он обосновал его научно в фундаментальном произведении² и создал те понятия, на которых основываются все новейшие работы об этом методе.

Выдающееся значение имеют те отделы „Disquisitiones“, которые трактуют о вычислениях с помощью детерминантов³. Первые начатки этого важного метода современной математики мы встречаем еще у Лейбница. Он первый указал на то, что теория сочетаний может оказать значительные услуги при решении уравнений. Но подлинным основателем теории детерминантов был Крамер (Cramer), опубликовавший в 1750 г. новый метод решения n уравнений первой степени с n неизвестными при помощи теории сочетаний. Эти исследования продолжали Лаплас и Лагранж. Но важнейший прогресс в новооткрытой области математики был сделан Гауссом, которому принадлежит и сам термин „детерминант“. В деле дальнейшего развития теории детерминантов особенно много сделал Якоби (Jacobi), но мы вынуждены ограничиться лишь простым упоминанием его мемуаров по этому вопросу⁴.

Из позднейших математических работ Гаусса мы должны отметить хотя бы самым кратким образом две, посвященные проблемам физики. Это, во-первых, мемуар о фигуре жидкостей и, во-вторых, работа по теории потенциала, имевшая основоположное значение для развития этой теории, играющей столь важную роль в современной математической физике.

Теория жидкостей рассматривалась Лапласом в одном из приложений к „Небесной механике“. При этом он исходил из предположения, что между частицами жидкостей действуют кроме обычной силы притяжения, обратно пропорциональной квадрату расстояния, еще другие силы притяжения. Эти последние совершенно незаметны, поскольку мы имеем дело с измеримыми, хотя и очень ничтожными расстояниями. Но зато на неизмеримо малых расстояни-

¹ Legendre, Nouvelle methodes pour la détermination des orbites des comètes.

² „Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae“, 1821.

³ № 159 и 270.

⁴ C. G. J. Jacobi, Über die Bildung und die Eigenschaften der Determinanten und über die Funktionaldeterminanten. Оба мемуара появились в 1841 г. в журнале Крелля (Crelle). В 1896 г. они вышли в виде 77-го и 78-го томов остральдовской серии классиков точного знания под редакцией П. Штекеля (Stäckel), снабдившие о них примечаниями.

ях это вторая сила — так называемое молекулярное притяжение — может далеко превосходить обычное притяжение.

Исходя из этих предпосылок, Лаплас определил математически свойства молекулярных сил и дал объяснение явлениям капиллярности, а также форме поверхности жидкостей. Однако эти исследования¹, которые Гаусс причислил к „прекраснейшим вкладам“ великого французского математика в естествознание, были в некоторых существенных пунктах недостаточны и неполны. Поэтому Гаусс наов исследовал форму равновесия, принимаемую жидкостями, когда они находятся под влиянием силы тяжести и под влиянием молекулярных сил, исходящих от них самих и от заключающего их сосуда². При этом он оперировал иным методом, чем Лаплас, пользуясь основным принципом динамики, принципом виртуальных скоростей. На основании полученной этим путем формулы Гаусс смог без труда объяснить основное явление капиллярности, именно то, что в цилиндрических капиллярных трубках понижение или повышение жидкости обратно пропорционально диаметру трубки.

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ПРИТЯЖЕНИЯ И ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

Во второй из вышеупомянутых математических работ Гаусс вплотную занимается теорией, приобретшей основоположное значение для современной математической физики. Мы имеем в виду теорию потенциала, начатки которой восходят к 80-м годам XVIII в. Но для того чтобы понять выдающуюся роль Гаусса в создании этой теории, необходимо вернуться к работам его предшественников.

Исходным пунктом для развития вышеназванной новой математической дисциплины был закон тяготения Ньютона. После открытия этого закона возник ряд проблем, ставших могучим стимулом для дальнейшего развития математики. Закон тяготения, согласно которому притяжение определяется выражением $\frac{m \cdot m'}{r^2}$, применялся первоначально к двум материальным точкам или к двум материальным системам, размеры которых исчезающе малы по сравнению с разделяющими их расстояниями. Для таких систем можно было принимать, что массы их сосредоточены в обоих центрах тяжести и действуют из этих точек по направлению соединяющей их линии. Но когда стали рассматривать тела как материальные системы, в которых каждая из бесконечно многих частей действует согласно ньютоновому закону на другие материальные системы — или, беря более простой случай, — на материальную точку, то возник ряд проблем по существу математического порядка, которых нельзя было решить при помощи существовавших тогда методов. Надо было ввести особую, характерную для проблем теории при-

¹ Laplace, *Théorie capillaire* в приложении к 10-й книге „Небесной механики“. См. также „*Gilberts Annalen*“, XXXIII.

² C. F. Gauss, *Allgemeine Grundlagen einer Theorie der Gestalt von Flüssigkeiten in Zustände des Gleichgewichts*, 1830. Вышла также в 135-м томе *освальдовской серии классиков точного знания* под редакцией Г. Вебера, Лейпциг 1903.

тяжения функцию, которая должна была относиться к сумме или интегралу всех действующих материальных частиц и которую впоследствии назвали потенциалом масс. Прежде всего надо было определить притяжение материальной точки эллипсоидами, ибо астрономия имела дело с ними, а не с шарами. Ньютон и в этом случае пользовался своим синтетически-геометрическим методом и нашел, например, что однородный слой, ограниченный двумя подобными концентрическими эллипсоидами, не оказывает никакого притяжения на находящуюся внутри точку.

Дальнейший шаг в решении этих проблем¹ был сделан, однако, лишь тогда, когда Лагранж применил методы анализа к многочисленным проблемам, возникшим в связи с законом притяжения. Лагранж искал общее выражение для силы, с которой тело любой формы притягивает расположенную любым образом точку. Он показал, что притяжение, оказываемое системой, состоящей из отдельных материальных точек, можно разложить на слагающие, представляющие частные производные некоторой определенной функции². Одновременно с этим он ввел, по примеру Бернулли, для облегчения решения задач, связанных с теорией притяжения, полярные координаты. Благодаря всему этому Лагранж сумел доказать аналитическим образом все известные тогда теоремы о притяжении.

За Лагранжем последовал Лаплас. Он первый применил функцию Лагранжа к сплошным массам и решил в своей „*Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes*“³ знаменитую проблему эллипсоида, определив притяжение, оказываемое трехосным эллипсоидом на расположенную вне его точку. Лаплас получил уравнение для вторых частных производных функций Лагранжа, которую он обозначил употребляемым еще и теперь символом V . Это называемое еще и теперь лапласовым уравнение гласит:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} + \frac{d^2 V}{dy^2} + \frac{d^2 V}{dz^2} = 0.$$

Значение созданного Лагранжем и Лапласом алгоритма выросло в огромной степени, когда Кулон доказал, что магнитные и электрические притяжения тоже происходят согласно формуле тяготения Ньютона. Англичанин Грин (Green) (1793—1841)⁴ сделал в 1828 г. попытку применить математическую теорию потенциала к

¹ Превосходная история теории притяжения имеется у Дж. Тодгентаера. См. прим. на стр. 220 настоящего тома.

² „*Mém. de Berlin*“, 1777, стр. 155

³ „*Mémoires de l'Académie Roy. de Paris*“, 1782, стр. 113—196. Этот мемуар вошел частично в „Небесную механику“. Немецкий перевод этой главы „Небесной механики“ появился в 19-м томике оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг, 1890.

⁴ Дж. Грин, Опыт применения математического анализа к теориям электричества и магнетизма. Немецкий перевод этой работы, снабженный примечаниями, вышел под редакцией Вангерина и фон-Эгтингена в виде 61-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг, 1895.

электричеству и магнетизму. Предшественником Грина в этом вопросе был только Пуассон, который определил аналитическим путем распределение электричества на поверхности проводников и пытался также распространить анализ на область магнетизма. Грин в своих исследованиях примкнул к этим работам Пуассона и к полученному Лапласом дифференциальному уравнению второго порядка, важность которого для всех действующих по ньютоновому закону сил он понял. Грина одушевляло желание подчинить математическим операциям столь универсальную силу, как электричество. Для этого он пользовался анализом, во-первых, чтобы показать „исключительную мощь этого удивительного орудия человеческой мысли“, а, во-вторых, чтобы еще увеличить эту мощь.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ И УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Грин употреблял выражение „потенциальная функция“ для той функции, которую Лаплас обозначал символом V и которую Гаусс впоследствии назвал потенциалом. Почти все силы притяжения и отталкивания, по Грину, таковы, что имеют место следующие отношения. Если какое-нибудь тело действует на материальную точку, то силу, действующую на эту точку в определенном направлении, можно выразить частной производной определенной функции координат, дающих положение этой точки в пространстве. Функция эта имеет огромное значение для многих исследований; поэтому Грин дал ей особенное наименование¹.

Грин исходит из лапласова уравнения:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} + \frac{d^2 V}{dy^2} + \frac{d^2 V}{dz^2} = 0,$$

применяемого ко всякой расположенной вне тела точке с координатами x , y , z . Грин вводит для обозначения этого уравнения более краткий символ $dV=0$ и показывает сперва, что для точки, расположенной внутри тела, имеет место равенство $dV + 4\pi\rho = 0$ и что, следовательно, dV имеет в этом случае значение $-4\pi\rho$. При этом под ρ понимают электрическую плотность в точке ρ . Лапласово уравнение для внешней точки оказалось таким образом лишь частным случаем нового уравнения $dV + 4\pi\rho = 0$, так как для внешней точки $\rho = 0$. При прохождении через поверхность потенциальная функция делает скачок в $4\pi\rho$. Результатом исследования Грина явилось утверждение, что электрическую плотность можно вычислить на основании потенциальной функции, а эту последнюю, обратно,—на основании электрической плотности. Установив наиболее общие положения теории электричества, а в связи с этим

¹ Для сил, которые действуют не по ньютонову закону, введено было впоследствии выражение „силовая функция“.

ряд важных теорем по теории функций¹, Грин переходит к некоторым частным случаям и прежде всего к лейденской банке. Для нее он получил следующую теорему. Если ограничить замкнутой кривой кусок внутренней обкладки и если, далее, вырезать соответствующий кусок внешней обкладки, восставив для этого ко всем точкам упомянутой кривой нормали, то сумма зарядов на этих соответствующих площадках равна нулю, ибо площадки обладают равными и противоположными зарядами, в точности нейтрализующими друг друга².

Применив, далее, свою теорию к явлениям электрической индукции, Грин пришел к выводам, вполне согласующимся с данными опыта. Он исследовал прежде всего случай идеально проводящей полой оболочки любой формы и плотности, подверженной действию любых находящихся вне ее электрических сил. При помощи электрической индукции вызывают в оболочке электрическое состояние, действие которого на находящуюся внутри оболочки и заряженную электричеством точку равно, как показывает Грин, нулю³.

Грин рассматривает затем случай двух шаров различного радиуса, соединенных между собой данной тонкой проволокой, и исследует их заряды в состоянии равновесия. Вычисления показывают, что средние электрические плотности обратно пропорциональны радиусам шаров. Если затем сделать бесконечно малым радиус одного шара, то получается частный случай действия острия⁴.

Работу Грина постигла замечательная участь. Так как он вел дело своего отца, живя в деревенском уединении, и оставался неизвестным ученому миру, то на его исследования не обратили внимания ни в Англии, ни на материке. Они стали жертвой забвения, пока Гаусс снова не открыл содержащихся в них важных результатов. Лишь тогда физик В. Томсон, желая сохранить приоритет за своим отечеством, обратил внимание на мемуары Грина и переиздал важнейшие из них⁵.

¹ Важнейшая из этих теорем, играющая крупную роль еще и в наше время при применении теории потенциала, называется „теоремой Грина“. Она дана в третьей главе его мемуара (Ostwalds Klassiker, т. 61, стр. 24—28) и касается случая двух функций U и V от x, y, z , значения которых для каждой точки внутри некоторого объема можно считать данными.

При предположении, что функции U и V , а также первые их производные внутри рассматриваемого объема конечны и непрерывны, теорема Грина гласит:

$$\iiint dx \cdot dy \cdot dz \ U \cdot dV + \int d\sigma \cdot U \left(\frac{dV}{dw} \right) = \iiint dx \cdot dy \cdot dz \cdot V dU + \int d\sigma V \left(\frac{dU}{dw} \right).$$

Здесь dV и dU это известные сокращения для лапласова уравнения, $d\sigma$ —элемент поверхности, а dw —линейный элемент, рассматриваемый как положительный перпендикулярно к $d\sigma$ внутрь тела. Подробнее см. у Riemann-Hattendorff Schwere, Elektrizität und Magnetismus, § 20.

² Ostwalds Klassiker, № 61, стр. 45

³ Ostwalds Klassiker, № 61, стр. 48.

⁴ Ostwalds Klassiker, № 61, стр. 62.

⁵ Grelles Journal für Mathematik, 1850.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

Новейшая фаза в развитии теории потенциала как самостоятельной математической дисциплины начинается в 1849 г. вместе с появлением основоположного по этому вопросу мемуара Гаусса¹. Великому немецкому ученому удалось не только впервые строго доказать важнейшие найденные до него теоремы, но и обогатить теорию столь важными новыми теоремами, что она отныне приобрела величайшее значение для физики и теории функций.

В этом мемуаре Гаусс дает общие теоремы, применимые как к силе тяготения, так и к важнейшим электрическим и магнитным явлениям. В выражении $\frac{m m'}{r^2}$ m и m' означают либо весомую материю, либо массы магнитной, либо, наконец, массы электрической жидкости, притягивающие или отталкивающие друг друга. Гаусс оставил без рассмотрения только действие гальванического тока на магнитную жидкость, потому что здесь сила действует не по прямой, соединяющей центры сил, и потому что интенсивность ее зависит не только от расстояния между центрами, но и от некоторого угла. Без рассмотрения осталось также действие, оказываемое друг на друга двумя элементами тока, опять-таки потому, что сила зависит здесь от направления элементов тока, хотя в остальных отношениях она действует по прямой, соединяющей оба элемента, и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Таким образом Гаусс ограничивается в своем исследовании тремя выше-названными случаями и понимает под массой просто то, от чего исходит притяжение или отталкивание.

Если подобные притягивающие или отталкивающие массы m^0 , m' , m'' и т. д. действуют на одну и ту же точку с расстояний r^0 , r' , r'' и т. д., то существует определенная функция V , равная сумме всех $\frac{m}{r}$. Эту функцию Гаусс называет потенциалом масс. Потенциал, выражаясь словами, это сумма всех действующих масс, деленных на соответствующие расстояния. Из потенциала можно вывести составляющие той силы, которая действует на точку. Эта сила ρ выражается следующей формулой:

$$\rho = \sqrt{\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dV}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dV}{dz}\right)^2}$$

Гаусс ввел затем новое понятие, игравшее огромную роль в его собственных и позднейших исследованиях по теории потенциала. Через все точки, в которых потенциал обладает одним и тем же значением, он провел мысленно поверхность. Подобная поверхность отделяет пространство, в котором потенциал меньше, от пространства, в котором он больше, чем на этой поверхности.

¹ C. F. Gauss, Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte. Вышел в виде 2-го томка оствальдовской серии классиков точного знания под ред. А. Вайгеринга, Лейпциг 1902.

В каждой точке подобной „поверхности равновесия“ направление силы будет нормально к самой поверхности. Поверхности постоянного потенциала, названные Гауссом поверхностями равновесия, теперь называются „поверхностями уровня“, а линии, перпендикулярные к семейству таких поверхностей (ортогональные траектории), называются „силовыми линиями“.

Гаусс показал также, что для всех точек пространства, лежащих вне действующих масс, имеет место лапласово уравнение. Если же точка плотности k лежит внутри тела, то, в согласии с полученным Грином результатом, лапласово выражение принимает значение $-4\pi k$. До сих пор в исследовании Гаусса мало нового, но его выводы уже известных до него теорем проще и строже, чем данные его предшественниками.

Среди многих новых теорем, открытых Гауссом, одной из важнейших является теорема об эквивалентном переносе масс. Она гласит: вместо любого заданного распределения масс D , которое имеет место либо только во внутреннем пространстве, ограниченном замкнутой поверхностью S , либо только во внешнем пространстве, можно взять распределение масс E только на самой поверхности. Результатом этого является то, что действие E равняется действию D во всех точках внешнего пространства для первого случая или во всех точках внутреннего пространства для второго случая. Этой теоремой Гаусс, как мы сейчас увидим, воспользовался в своем знаменитом трактате об интенсивности силы земного магнетизма.

ТЕОРИЯ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА

Мы переходим теперь к рассмотрению нового этапа в научной деятельности великого исследователя. Через Александра Гумбольдта Гаусс познакомился с физиком Вильгельмом Вебером, которого он сумел привлечь в Геттинген. Между обоими этими учеными завязалось такое же научное сотрудничество, какое впоследствии существовало между Кирхгофом (Kirchhoff) и Бунзеном (Bunsen).

В соответствии со своими способностями и дополняя таким образом друг друга, Гаусс и Вебер приступили к исследованию мало изученной до того области, именно области земного магнетизма. Для исследования этой силы тогда не существовало еще надлежащих инструментов, а также единообразных, планомерно производимых в различных местах, наблюдений. Благодаря усилиям Гаусса и Вебера в этом отношении произошла полная перемена. В Геттингене была создана первая магнитная обсерватория. В союзе с Гумбольдтом Гаусс и Вебер сумели склонить в пользу нового начинания не только немецкие, но и иностранные правительства. В результате этого был основан Магнитный союз и создана по образцу геттингенского учреждения сеть обсерваторий, раскинутая по всей земле. Единообразие в этом отношении было так велико, что во всех обсерваториях не только наблюдали при помощи инструментов Гаусса и по указаниям его, но и пользовались геттин-

генским временем и посылали все наблюдения в Геттинген, где они были опубликованы в 1836—1841 гг. как „Результаты, полученные на основании наблюдений Магнитного союза“. На полученном таким образом материале Гаусс построил свою общую теорию земного магнетизма¹. Теперь впервые был определен магнитный момент земли в абсолютных единицах и создано для учения о земном магнетизме-то, что Ньютон сделал для теории тяготения в своих „Началах“. Далее, на основании наблюдений, собранных Магнитным союзом, появился в 1840 г. „Атлас земного магнетизма“.

Теоретические основы всех этих, охватывавших десятилетия и требовавших столь много сил исследований земного магнетизма Гаусс изложил в своем трактате об интенсивности силы земного магнетизма. Необходимый для измерений инструмент он создал в своем бифилярном магнитометре.

Вышеназванный трактат Гаусса появился в 1832 г. Содержа в себе основы абсолютной системы мер, он обладает столь исключительным значением не только для учения о магнетизме, но и для всей физики, что мы должны остановиться на нем несколько подробнее².

Для полного определения силы земного магнетизма в некотором данном месте необходимы три элемента: склонение, наклонение и интенсивность. Особенное внимание обращали на склонение ввиду его значения для мореплавания, гораздо меньше внимания уделяли наклонению. Что касается интенсивности силы земного магнетизма, этого третьего пренебрегавшегося до того элемента, то на значение ее указал в особенности Гумбольдт. Во время своих путешествий Гумбольдт установил, что одна и та же магнитная стрелка в различных местах качается с разной быстротой. Отсюда Гумбольдт заключил, что интенсивность вызывающей качания стрелки силы земного магнетизма то больше, то меньше и что вообще она возрастает по мере приближения к магнитным полюсам. Однако предложенный Гумбольдтом метод позволял только относительные измерения; кроме того, в нем имелся ряд источников погрешностей, вследствие чего он не мог претендовать на научную точность. Дело в том, что число колебаний магнитной стрелки зависит не только от силы земного магнетизма, но также от магнитного состояния самой стрелки и, наконец, от момента инерции ее. Если бы даке, желая исключить разницу в моменте инерции, взяли для опытов одну и ту же стрелку, то при более или менее длительных путешествиях магнитная сила стрелки все равно должна была испытать ослабление. В силу этого обстоятельства — даже помимо ослабления силы земного магнетизма — произошло бы замедление колебаний стрелки, что привело бы к ложным выводам. Наконец, можно было предполагать, что в одном и том же месте медленно изменяется не только склонение и наклонение иглы, но

¹ Gauss, Werke, т. 5, стр. 119.

² C. F. Gauss, Die Intensität der erdmagnetischen Kraft, auf absolutes Mass zurückgeführt. Вышел в виде 53 го томика оствальдовской серии классиков точного знания под ред. Э. Дорна, Лейпциг 1894.

и интенсивность силы земного магнетизма. Ясно, что в этом случае метод Гумбольдта терял всякую научную ценность.

Убедившись в этих недостатках сравнительного метода, Гаусс решил заменить его новым методом. Надо было освободиться от случайных различий магнитных стрелок и выразить интенсивность силы земного магнетизма в некоторых постоянных единицах. Гаусс поступил при этом следующим образом. Число колебаний, совершаемых стрелкой в некоторое данное время, зависит от трех величин, именно от интенсивности силы земного магнетизма, от момента заключенного в стрелке свободного магнетизма и, наконец, от момента инерции стрелки. Если качающееся тело обладало определенной формой и было однородно во всей своей массе, то момент инерции его можно было вычислить по хорошо известным методам. Но Гаусс предпочел определить его эмпирическим путем. Для этого он заставлял магнитную стрелку качаться под действием одной и той же магнитной силы, сперва с некоторой нагрузкой, а потом без нее. Замедление в продолжительности колебаний, вызываемое определенным грузом, находящимся на определенном расстоянии от оси, давало ему возможность определить точнейшим образом момент инерции стрелки, даже если она была снабжена какими-нибудь сложными приспособлениями, например зеркальцем для отсчета колебаний.

АБСОЛЮТНАЯ СИСТЕМА МЕР

Большие трудности представляло определение магнитного момента стрелки. Преодолеть их можно было, только введя абсолютную систему мер. При этом Гаусс исходил из концепции магнитных жидкостей. Гипотетический характер этой концепции несколько не влиял на ход и результаты его исследований.* Магнитные жидкости можно познать и измерить только по их действиям, представляющим собою движущие силы, которые сообщают известное ускорение некоторой определенной массе. За единицы длины, массы и времени Гаусс взял миллиметр, миллиграмм и секунду¹. Гаусс впервые распространил существовавшую уже до него в механике и опиравшуюся на эти основные единицы систему на магнитные измерения. За единицу магнитной жидкости он принял то количество ее, отталкивательное действие которой на другое, равное ему и находящееся на единице расстояния количество магнитной жидкости, равно единице, т. е. равно действию ускоряющей силы 1 на массу 1. Если магнитные силы разного рода, то вместо отталкивания надо брать равное ему притяжение. В своих исследованиях Гаусс исходил сперва из предположения, что для сил этого рода действителен найденный Кулоном закон $\frac{m m'}{r^2}$, впоследствии же он подтвердил это путем наблюдений.

¹ Впоследствии, согласно резолюции Парижской конференции 1881 г., на место этих единиц решено было взять сантиметр, грамм и секунду.

Для определения магнитного состояния стрелки особенное значение имело доказанное Гауссом в его „Общих теоремах“ положение о переносе масс¹. В приложении к разбираемому вопросу оно гласило: каково бы ни было распределение свободного магнетизма внутри некоторого тела, его всегда можно заменить некоторым другим распределением магнетизма на поверхности этого тела, которое будет оказывать на лежащий вне этого тела элемент магнитной жидкости действие, вполне тождественное действию первоначального распределения.

По установлении магнитной единицы надо было выразить интенсивность силы земного магнетизма при помощи той движущей силы, какую сообщает земной магнетизм этой единице. При этом можно было ограничиться определением горизонтальной слагающей интенсивности. Разделив эту горизонтальную слагающую на косинус наклона, получали величину силы земного магнетизма.

Чтобы добиться своей цели, Гаусс прибегнул к следующей уловке. Он сравнивал действие земного магнетизма на подвижную стрелку с действием, оказываемым на эту находящуюся в состоянии движения или покоя² стрелку другой магнитной стрелкой.

Величина горизонтальной слагающей интенсивности земного магнетизма оказалась равной для Геттингена на 18 сентября 1832 г.

$$T = 1,7821.$$

Иначе говоря, для магнитного стержня, обладающего единицей свободного магнетизма, она равнялась давлению, оказываемому 1,7821 единицы силы на плечо рычага длиной в 1 мм. Под единицей силы надо понимать, согласно установленной Гауссом абсолютной системе мер, ту силу, которая сообщает массе в 1 м в 1 сек. ускорение в 1 мм.

Чтобы найти значение полной интенсивности силы земного магнетизма, надо было найденное значение в 1,7821 единицы силы разделить еще на косинус наклона, которое летом 1832 г. равнялось в Геттингене $68^{\circ} 22' 52''$.

В результате предпринятых по инициативе Гаусса и Вебера во всех частях земли измерений силы земного магнетизма оказалось, что сила эта возрастает с приближением к магнитным полюсам и вблизи них примерно в 1,5 раза больше, чем на магнитном экваторе. Оказалось также, в согласии с ожиданиями ученых, что интенсивность силы земного магнетизма в одном и том же пункте подвержена, подобно наклону и склонению, дневным и вековым колебаниям.

В конце своего мемуара Гаусс, касаясь амперовой теории магнетизма, замечает, что какую бы теорию ни составили себе в будущем о магнитных явлениях, она должна привести к тем же результатам, к каким он пришел с помощью теории магнитных жидко-

¹ См. стр. 276 настоящего тома.

² Ostwalds Klassiker, № 53, стр. 27.

стей. „То, что изложено в данном трактате на основании этой теории, — так заканчивает Гаусс свою работу, — может быть изменено только по форме, но не по существу“.

Остановимся еще вкратце на технических трудностях, которые пришлось преодолеть Гауссу и Веберу при выполнении своих магнитных измерений. Прежде всего они занялись тем, чтобы определить гораздо точнее время колебаний и направление магнитных стрелок, чем это делалось до них. С этой целью они придумали испытанный впервые на магнитных измерениях метод определения углов при помощи зеркальца, шкалы и подзорной трубы, — метод, сохранивший и в дальнейшем исключительное значение для техники наблюдения. Далее им нужно было защитить применявшиеся ими приборы от всяких воздушных течений, а особенно от

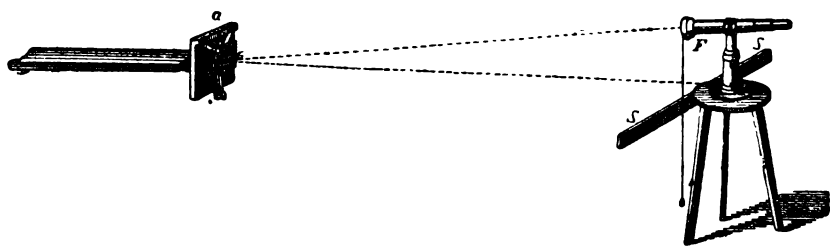


Рис. 62. Магнитометр, построенный Гауссом для измерения силы земного магнетизма.

действия железа. Поэтому при постройке магнитных обсерваторий согласно предложению Гаусса и Вебера стали избегать употребления в каком бы то ни было виде железа. Благодаря всем этим предосторожностям им удалось придать своим измерениям, как выражается Гаусс, точность астрономических наблюдений.

Наконец, скажем еще несколько слов о созданном Гауссом для своих опытов приборе, магнитометре. Он состоит из подвешенного магнитного стержня (рис. 62) и подзорной трубы для наблюдения колебаний стрелки. Магнитный стержень снабжен зеркальцем *a*, в точности перпендикулярным к оси. Против зеркальца находится на некотором расстоянии от магнита подзорная труба *F*, оптическая ось которой направлена к середине зеркальца. Под трубой помещается шкала *SS*. Она образует прямой угол с магнитным меридианом, иначе говоря, параллельна горизонтальному диаметру зеркальца. Центр этой шкалы и оптическая ось трубы находятся в одной и той же вертикальной плоскости. Далее шкала помещена так, что точки деления ее попадают после отражения зеркальцем в подзорную трубу.

На основании этого описания нетрудно понять способ действия этого прибора. Приближая к испытуемому магниту другой магнит, приводят первый в небольшие колебания. Вслед за этим в подзорной трубе появляются одно за другим деления шкалы. Чтобы узнать

продолжительности одного колебания, надо определить время, протекающее до вторичного появления определенного деления в нитяном кресте подзорной трубы.

МАТЕМАТИКА И ГЕОДЕЗИЯ

Кроме астрономии и физики, существует еще третья область, оплодотворенная математическим гением Гаусса;—именно столь близкая к астрономии геодезия.

На каком высоком уровне стояла эта наука в начале XIX в., видно из „Theorie der Landesvermessung („Теория топографической съемки“)¹ Зольднера (Soldner).

Зольднер исходит из вычисления сети геодезических треугольников, причем треугольники на земной поверхности рассматриваются им как сферические треугольники. Он учитывает также влияние, оказываемое сжатием земли на вычисление треугольников больших размеров. Наконец, он вычисляет географические положения, именно долготу и широту, точек тригонометрической сети.

К проблемам геодезии Гаусс обратился в связи со следующим обстоятельством. Его друг, датский астроном Шумахер (Schumacher) (родился в 1780 г. в Гольштейне и был, таким образом, по происхождению немцем), предпринял по поручению своего правительства топографическую съемку Шлезвиг-Гольштейна. В Ганновере решили продолжить это предприятие от Альтоны до южной границы королевства и поручили Гауссу выполнение этого грандиозного, потребовавшего 24 года работы начинания. В течение 1821—1827 гг. Гаусс почти целиком отдался этому предприятию, установив за это время положение не менее 2578 неподвижных точек. Но важнее этой практической услуги, оказанной только небольшой стране, были созданные Гауссом в связи с этой триангуляцией новые геодезические методы. По этому поводу сам Гаусс замечает, что он ввел новые, отличные от обычных методы не только в вопросе о способе производства измерений, но еще более в вопросе об их дальнейшей математической обработке².

Прежде всего следует заметить, что Гаусс придал для геодезических целей своему методу наименьших квадратов ту форму, в которой он с тех пор употребляется всеми в геодезии.

С проблемами высшей геодезии связаны две важных математических работы, опубликованных Гауссом в 20-х годах XIX в. Первая из них тесно связана с задачами картографии. Поводом для составления ее послужила задача на премию, объявленная

¹ Эта работа была составлена в 1810 г. для баварской топографической съемки. Однако она явилась в печати только в 1873 г., а затем была переиздана в виде 184-го тома остальдовской серии, так как она еще и в настоящее время является прекрасным первым введением в высшую геодезию.

Зольднер (1776—1833) принимал в качестве геодезиста деятельное участие в баварской топографической съемке. Впоследствии он был придворным астрономом на новопостроенной мюнхенской обсерватории. Ср. диссертацию Фр.-Иог. Мюллера, Мюнхен 1914.

² Gauss, Werke, т. 4, стр. 25¹, Göttingen 1873.

Королевским научным обществом в Копенгагене в 1822 г. В ней дано общее решение следующей задачи. Требуется отобразить части данной поверхности на другой данной поверхности так, чтобы отображение было подобно отображаемой фигуре в самых малых частях. Эта основная для картографии проблема была поставлена уже Ламбертом¹. Однако он ограничился только шаровой поверхностью и плоскостью, не будучи в состоянии дать общего решения проблемы, которое удалось только великим математикам Лагранжу и Гауссу². Требуемый вид отображения Гаусс назвал „конформным“. Дав общее решение проблемы, Гаусс рассматривает затем некоторые частные случаи. Он исследует конформные отображения частей плоскости друг на друга и показывает, как, зная правильное положение известного числа точек, можно улучшить карту, которая в частностях хороша, но в целом несколько искажена. За этим следует отображение на плоскости конуса, шара и эллипсоида вращения. В заключение дано отображение эллипсоида вращения на шаровой поверхности. Благодаря рассмотрению этих случаев конформных отображений удалось гораздо значительнее упростить сложные выкладки на земном сфероиде, чем это было возможно при помощи старых методов.

В известной связи с проблемами высшей геодезии стоит и опубликованная Гауссом в 1827 г. „Теория поверхностей“³. В этой работе Гаусс занимается главным образом вопросом о кривизне поверхностей. Он вводит прежде всего понятие меры кривизны, сравнивая для этого части кривой поверхности с соответствующей площадкой некоторого неизменного вспомогательного шара. Легко понять, что эта площадка тем меньше, чем менее отклоняется соответственный кусок кривой поверхности от плоскости. Кроме меры кривизны, Гаусс рассматривает в упомянутом мемуаре построение фигур на кривых поверхностях, углы и площади таких фигур, соединение точек поверхности при помощи кратчайших линий и т. д.,—словом, рассматривает ряд задач, имеющих крайне важное значение для геодезии. Особенно это относится к исследованию треугольников, образуемых кратчайшими линиями, исследованию, давшему значительный толчок развитию сферической тригонометрии. Такие линии получили название геодезических линий, а образованные из них треугольники — название геодезических треугольников. Из найденных Гауссом теорем о геодезических линиях и треугольниках особенно важны следующие: Если провести из данной точки на кривой поверхности систему геодезических линий равной длины, то соединяющая их конечные точки линия перпендикулярна ко всем линиям системы⁴. Если провести на кри-

¹ См. т. 2.

² Относящиеся сюда мемуары Лагранжа (1779 г.) и Гаусса (1822 г.) переизданы под ред. А. Вангерина в виде 55-го томика оставальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1834.

³ C. F. Gauss, Allgemeine Flächentheorie, 1827. Немецкий перевод этой работы вышел под ред. А. Вангерина в виде 5-го томика оставальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1889.

⁴ Ostwalds Klassiker, № 5, стр. 29.

вой поверхности произвольную линию и провести затем из этой линии под прямыми углами в одну и ту же сторону систему геодезических линий одинаковой длины, то кривая, соединяющая их конечные точки, пересекает все эти геодезические линии под прямым углом¹.

Особого упоминания заслуживает также теорема, что избыток суммы углов геодезического треугольника над двумя прямыми равен полной кривизне этого треугольника². Огромное значение для целого ряда дальнейших геодезических исследований имело также приведенное в конце мемуара сравнение геодезических треугольников с прямолинейными треугольниками, длина сторон которых равна длине соответствующих сторон геодезических треугольников.

Оба эти только что вкратце охарактеризованные мемуары о конформном отображении поверхностей (проектирование карт) и о линиях и фигурах на кривых поверхностях (о геодезических линиях и треугольниках) можно рассматривать как отрывки более крупной работы, которую Гаусс собирался написать по геодезии. В этом произведении Гаусс, руководствуясь образцом своего основного астрономического произведения „*Theoria motus corporum coelestium*“ от 1809 г., собирался изложить основы геодезии, приведя топографическую съемку королевства Ганновер в качестве грандиозной иллюстрации своих математических теорий. К сожалению, план этот не был осуществлен. Несмотря на это заслуги Гаусса в деле развития геодезии не были превзойдены никем. Благодаря ему наука эта, бывшая до того по существу обычным землемерным искусством, сравнилась по точности своих результатов с астрономией. Так, например, при названной триангуляции один сферический треугольник, площадь которого равнялась 53 кв. милям, был измерен с такой точностью, что действительная сумма углов отличалась от вычисленной только на две десятых секунды³. Для измерения треугольников таких размеров Гаусс создал новый геодезический прибор—гелиотроп. Конструкция его покоится на одной теореме из катоптрики, которую нетрудно понять на основании рис. 63. Теорема эта гласит: Если от достаточно удаленной светящейся точки падает луч SA на два взаимно перпендикулярных зеркала MN и PQ , то он будет отражен по противоположным направлениям AC и AB ⁴.

¹ Ostwalds Klassiker, № 5, стр. 30.

² Ostwalds Klassiker, № 5, стр. 36.

³ Вершинами углов этого величайшего из измеренных треугольников были Брокен, Инзельберг, Гогенгаген. Расстояние между этими точками равнялось 106 702 м, 84 957 м и 69 195 м. Сумма углов равнялась $180^{\circ}14,85''$. Сферический избыток равнялся таким образом $14,85''$.

Подробнее о топографической съемке королевства Ганновер см. в сочинении С. F. Gauss, *Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie*. Переизданное под ред. С. Фришауфа (S. Frischauf), оно вышло в виде 177-го томика оствальдовской серии классиков точного знания. Лейпциг 1910. Переиздание этого мемуара оправдывается не конкретными результатами этой съемки, но общим значением метода Гаусса.

⁴ Действительно, $\alpha + \gamma = 90^{\circ} = \beta + \delta$. Следовательно, $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 2R$.

Подобную комбинацию зеркал Гаусс использовал в своей подзорной трубе, которой он пользовался для измерения углов. Комбинация зеркал поворачивалась таким образом, что один луч, например AC , направлялся по оси трубы. В этом случае другой луч AB отражался в то место, на которое была направлена труба, и мог там быть использован для установки другой трубы. Разумеется, в зеркальном приборе должны были быть оставлены соответствующие отверстия, через которые проходила ось трубы. Гаусс построил гелиотроп в 1821 г. и, значит, мог его немедленно использовать для намеченной съемки.

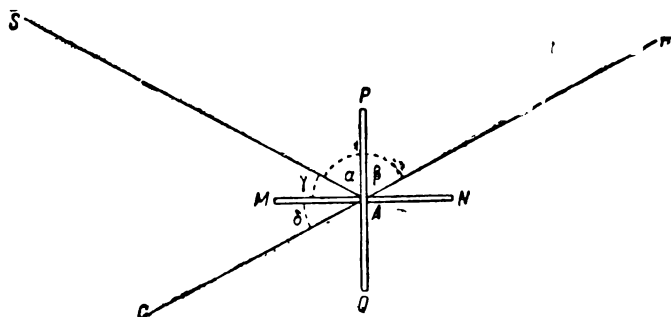


Рис. 63. Принцип, лежащий в основе гелиотропа Гаусса

Гаусс внес существенные улучшения не только в искусство измерения, но и в методы практического вычисления. С последней целью он выпустил таблицы для удобного вычисления логарифмов сумм или разностей двух величин, заданных только своими логарифмами. Гаусс выступил также против бессмысленного употребления таблиц многозначных логарифмов (в то время любили пользоваться десяти-, четырнадцати- и даже двадцатизначными логарифмами). Гаусс высказался за употребление пятизначных таблиц, потому что они вполне достаточны в очень многих, даже в большинстве, случаев, и что в практической астрономии не приходится иметь дело со столь точными выкладками, которые предполагают употребление многозначных таблиц.

ТРУДЫ ГАУССА И ОКАЗАННОЕ ИМИ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ НАУКИ

О Гауссе кто-то выразился, что он долго странствовал на одинокой, недоступной людям высоте. Это зависело от того, что он не любил предавать гласности результаты своих исследований. Академическая деятельность стояла у него далеко на заднем плане по сравнению с научным творчеством. У него было лишь немного учеников, так как за ним могли следовать только отдельные единицы. Его сочинения привлекали к себе мало внимания со стороны современных ему специалистов; далее, ряд важных открытий

в течение десятков лет хранился в его письменном столе. Эта странная сдержанность в вопросах науки—может быть, единственная теневая сторона этого великана духа—доходила до того, что Гаусс неоднократно повторял, что он занимается своими исследованиями только ради самого себя и что для него имеет совершенно второстепенное значение, будут ли опубликованы его работы и послужат ли они для поучения других¹. Гаусс не опубликовал ничего, чего он не довел бы до конца. Поэтому каждая из его работ является законченным произведением искусства, зданием, лесов которого совершенно не видно. Это обстоятельство крайне затруднило изучение творений Гаусса. Когда однажды его упрекнули за необычайную трудность его сочинений, то он заявил, что в готовом здании не следует видеть лесов. На это ему правильно возразили, что, по крайней мере, желательно видеть дверь, через которую можно проникнуть в это здание.

В 1855 г. Гаусс умер. Составленная по поручению короля в память его медаль имеет надпись: „Королю математиков“. После смерти Гаусса сочинения его стали доступнее, так как их начали комментировать многочисленные ученые. С 1863 г. выходит полное собрание сочинений Гаусса, не законченное еще и поныне². Покидая теперь Гаусса, мы приведем слова некролога, посвященного ему одним из крупнейших новейших математиков³: „Среди творений Гаусса нет ни одного, которое не представляло бы существенного прогресса в данной области благодаря приводимым в нем новым методам и новым результатам. Все они—классические образцовые произведения. Это служит порукой тому, что они не только сохраняют для всех времен историческое значение, но и будут служить грядущим поколениям основой для более глубоких научных занятий и богатой сокровищницей плодотворных мыслей“.

В последних главах мы могли убедиться, сколь плодотворным оказалось влияние математики на астрономию, физику и геодезию. Это значение математики для естествознания не стало меньше со времен Гаусса, хотя с тех пор вряд ли появлялся математик, который способен был бы подобно Гауссу не только содействовать прогрессу своей специальной области, но и способствовать связи ее с другими научными дисциплинами. Даже Гельмгольц, который среди новейших ученых больше всего приближается к Гауссу, был в первую голову физиком, занимавшимся математикой не столько ради нее самой, сколько ради ее прикладного значения.

Желая выяснить, какое значение имела в XIX в. высшая математика для чистого и прикладного естествознания, мы устремили прежде всего свой взор на Францию. Здесь в эпоху революции в империи нашелся ряд крупных ученых, которые ясно поняли зависимость между названными областями знания и неутомимо

¹ Sartorius von Waltershausen, Gauss zum Gedächtnis, Leipzig 1856, стр. 78.

² Важнейшие работы Гаусса появились в следующих томиках остендатовской серии классиков точного знания: 2, 5, 14, 19, 53, 55, 122, 135, 177.

³ Куммер (Kummer).

содействовали укреплению этой связи между ними. Это было в ту эпоху, когда Германия была еще так бедна математиками крупного калибра, что Гаусс оставался непонятым, и лекции по высшей математике считались бесполезными в немецких университетах и поэтому читались в них лишь редко. Великая эра расцвета математики и точного естествознания связана во Франции с именами Лапласа, Лагранжа и Лавуазье. Первый, как мы видели, был творцом небесной механики, второй—автором аналитической механики, а последний—основателем современной химии.

Только тогда, когда на проложенном Гауссом пути появились такие продолжатели его дела, как Дирихле (Dirichlet), его преемник по Геттингенской кафедре, Якоби и Риман, между тем как во Франции развитие математики замедлилось, Германии удалось занять руководящее место в этой области.



ОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕОПИСАНИЯ

Необычайный расцвет естествознания в новейшее время не оказал ни на одну науку такого революционизирующего действия, как на земледование. Правда, эпоха великих географических открытий дала земледованию мощный толчок, но по существу оно оставалось простым землеописанием. География как учение о внутренней связи теллурических явлений и их зависимости от космических процессов создавалась лишь в течение первой половины XIX в. В эту эпоху возникли теллурическая физика и география животных и растений как важнейшие основы родственного естественным наукам по духу и методу земледования. Особенности заслуги в деле создания этой науки принадлежали в ту эпоху Александру фон-Гумбольдту.

ОСНОВЫ НАУЧНОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Метеорология могла стать точной наукой, опирающейся на общие теоретические основы, лишь тогда, когда сфера ее наблюдений, ограничивавшихся до тех пор по существу Европой, распространилась на весь земной шар. Заслуга этого расширения сферы метеорологических наблюдений принадлежит Гумбольдту. Он первый стал тщательно изучать метеорологические условия тропиков и высказал убеждение, что не только метеорологические процессы, происходящие под тропиками, но и явления, имеющие место под другими широтами, управляются закономерными причинами, знание которых с течением времени станет доступно исследованию.

Введя изотермы или линии одинаковой годовой температуры, Гумбольдт стал одним из творцов научной климатологии. Последняя обязана ему, кроме этого метода графического изображения своих элементов¹, еще важными понятиями берегового и континентального климата, а также горного и долинного климата. Гумбольдт установил далее, что линии одинаковой летней температуры (изотермы) имеют совершенно иной вид, чем линии одинаковой

¹ Графический метод для наглядного изображения теллурических явлений применил впервые Галлей, соединивший между собой места равного склонения.

зимней температуры (изохимены)¹. Дальнейшей разработкой этого метода, явившегося для современников своего рода откровением, занимались особенно два немецких исследователя, именно Дове (Dove), введший понятие изаномальных линий, и Берггаус (Berghaus), который первый (1838 г.) дал в своем физическом атласе обширный картографический материал.

Теперь только удалось выяснить зависимость климата от распределения воды и суши, от направления и высоты горных цепей и от господствующих морских и воздушных течений. Составленная Гумбольдтом и приложенная к его мемуару от 1817 г. карта изотерм все еще заслуживает внимания благодаря своему историческому значению. Гумбольдт сам сообщает, что он обязан идеей изотерм Галлею. Крайне удивительно, что за долгий период от Галлея до Гумбольдта² никому не пришло в голову применить столь счастливую и плодотворную идею Галлея к другим областям. Дове расширил этот метод, соединив особыми кривыми, изаномалиями, не места равного значения, но места равного отклонения от некоторой вычисленной на основании теоретических соображений средней; благодаря этому он получил новые ценные выводы о причинах повышения или понижения температуры на некоторых участках земной поверхности.

Гумбольдт указал также на неравномерное распределение теплоты в вертикальном направлении и лежащие в основе этого закономерности. На этот факт, кроме него, обратили внимание известный исследователь Альп, Соссюр и инициатор первого научного полета на воздушном шаре Гей-Люссак. По данным Гумбольдта³ на каждые 85 туазов подъема вверх происходит в среднем уменьшение средней годовой температуры на 1°. Кроме того, подтвердилось высказанное еще Соссюром предположение, что зима на высотах относительно мягче, чем зима на равнине.

Уже Галлей занимался вопросом об объяснении пассатов и муссонов; но по-настоящему учение о воздушных течениях было основано только Дове. Он показал, что в северном полушарии ветер, начинаясь на западе, довольно закономерно проходит через север, восток и юг, возвращаясь к западу, между тем как в южном полушарии движение его происходит в обратном направлении. Четверть века спустя было доказано, что правило Дове представляет лишь несовершенное выражение установленного Буйс-Баллотом (Buys-Ballot, 1851 г.) закона, по которому существует следующая связь между воздушным давлением и движением воздуха: воздух всегда устремляется от места с высшим давлением к близлежащему месту с низшим давлением. При этом в северном полушарии он отклоняется вправо, а в южном влево. Поэтому всякое воздушное

¹ Соответствующая работа Гумбольдта появилась в „Mémoires de la société d'Arcueil“ под заглавием: „Des lignes isothermes et de la distribution de la chaleur sur le globe“, 1817, III, 462 и след. см. также мемуар от июля 1827 г. в „Известиях“ берлинской академии наук.

² 1683—1811.

³ Reschel, Geschichte der Erdkunde, 1865, стр. 654.

течение — безразлично, слабое или сильное — имеет форму спирали (циклон), причем движение по спирали поблизости минимума давления противоположно по направлению движению поблизости максимума (циклон и антициклон). На этой основе развилась современная метеорология со своими синоптическими картами, предсказаниями погоды и со своей столь ценной службой предупреждения о наступлении бурь.

Кроме сети астрономических и метеорологических обсерваторий, покрывших в XIX в. весь земной шар, в эту эпоху была построена также масса обсерваторий, посвященных изучению вопросов земного магнетизма и сейсмологии. Мы уже упоминали раньше о заслугах Гаусса и Гумбольдта в деле создания обсерваторий по изучению земного магнетизма и исследования магнитного состояния земли¹.

В эту эпоху Александр Гумбольдт являлся такой же центральной фигурой для всей обширной области естествознания, какой Гаусс был в течение первой половины XIX в. для области чистой и прикладной математики, хотя наука обязана Гумбольдту не столько новыми глубокими открытиями, сколько главным образом объединением различных отраслей знания при помощи общих точек зрения и вытекающим отсюда взаимнопроникновением их. На этой роли Гумбольдта, напоминающего по своему духовному складу скорее Аристотеля и Лейбница, чем Ньютона и Гаусса, мы остановимся гегерь несколько подробнее.

ЛИЧНОСТЬ ГУМБОЛЬДТА И ЕГО НАУЧНЫЕ ПУТЕШЕСТВИЯ

Александр фон-Гумбольдт родился 14 сентября 1769 г. в Берлине в одной старой и знатной прусской семье. Вместе со своим братом Вильгельмом он получил предварительное частное образование в родительском поместье в Тегеле. Александр Гумбольдт первоначально посвятил себя изучению административных наук, так как, следуя семейным традициям, он собирался поступить на государственную службу. Но вскоре, под влиянием природных склонностей, а также благодаря близости с Вильденовым (Willdenow) он заинтересовался естественными науками. Имея только 19 лет от роду, он приступил к составлению довольно значительного сочинения по ботанике². Его интерес к естественным наукам еще о обенно усилился тогда, когда он стал посещать Геттингенский университет, где преподавали тогда крупнейшие немецкие специалисты в области естествознания. Гумбольдт всегда с благодарностью вспоминал о влиянии, оказанном на него тем физиком Дихтенбергом, химиком Гмелиным (Gmelin) и анатомом Blumenbachом (Blumenbach). В Геттингене он познакомился также с Георгом Форстером (Forster), сопровождавшим Кука во время его второго кругосветно о путешествия и приобретшим крупную репутацию своими художественными описаниями природы. Форстер, обладавший совершенно

¹ См. стр. 276 настоящего тома.

² В г у н s, Alexander von Humboldt, I, стр. 67.

исключительными и разносторонними научными дарованиями, стал образцом для Александра Гумбольдта и оказал решающее влияние на его дальнейшую научную и житейскую карьеру¹. В компании с Форстером Гумбольдт предпринял летом 1790 г. свое первое продолжительное путешествие по Голландии, Англии и Франции. Под руководством знаменитого моряка оно стало для Гумбольдта предварительной школой для его собственных позднейших, ознаменовавшихся великими открытиями путешествий. Это путешествие, во время которого в Гумбольдте пробудилась страсть к морскому образу жизни и к тропическим странам, он часто называл особенно счастливым событием своей жизни². После этого Гумбольдт продолжал свои занятия в Горной академии в Фрейберге, где он был одним из усерднейших учеников минералог Вернера, главного теоретика непутизма, с которым впоследствии Гумбольдт и Л. фон-Бух (Buch) вели такую ожесточенную борьбу.

Чтобы послушать Вернера, в Фрейберг стекались тогда со всех частей света минералоги, геологи и специалисты горного дела. Гумбольдт, составивший себе уже некоторое имя своими „*Beobachtungen über einige Basalte am Rhein*“ (1790) („Наблюдения над некоторыми базальтами на Рейне“), встретил особенно хороший прием у Вернера. Тридцать лет спустя Гумбольдт в следующих выражениях высказал свою признательность заслуженному учителю: „Вернер выделял с поразительным остроумием все факты, на которые следует обратить внимание при изучении геологических формаций. Он учил тому, что следует наблюдать и что следует знать. В странах, исследовать которые ему не было дано, он подготовил часть сделанных в них затем открытий. Действительно, так как геологические формации не зависят от географической широты и климата, то какой-нибудь маленький клочок земли, на котором природа соединила много формаций, может, подобно настоящему микрокосму, натолкнуть опытного наблюдателя на очень правильные соображения об основных истинах геологии“³. Покинув Фрейберг, Гумбольдт в течение нескольких лет работал в качестве горного ассесора и горного мастера в горах Фихтель. В этот период он неоднократно встречался с представителями Иено-Веймарского кружка, к которому принадлежал его брат Вильгельм с 1794 г.

Если Вильгельм был близок к Шиллеру, то Александр больше сошелся с Гете. В Веймаре естественные науки были тогда в моде. Все занимались здесь минералогией. Даже придворные дамы собирали естественнонаучные коллекции, а для Гете с его пристрастием к минералогии и геологии ни одна гора не была слишком высока, ни одна шахта слишком глубока, ни одна штольня слишком низка и ни одна пещера слишком запутана⁴. Гете живо интересовался также опытами Гумбольдта над раздражением при помощи

¹ Bruhns, I, стр. 95.

² Bruhns, I, стр. 103.

³ Humboldt, *Essai géognostique*. Немецкий перевод Леонгардта (Leonhardt), 1823.

⁴ Böttiger, *Literarische Zustände und Zeitgenossen*, I, 23.

АЛЕКСАНДР ГУМБОЛЬДТ
1769—1859

гальванического тока нервов и мышечных волокон. Хотя в опубликованном Гумбольдтом по этому вопросу сочинении приводилось много ценных опытов, но защищавшаяся в нем теория была ошибочной, так как Гумбольдт видел в реакциях мышц не действие гальванического тока, а проявление особенной жизненной силы¹.

С Гете, выпустившим уже в 1786 г. исследование о межчелюстной кости, Александр Гумбольдт часто беседовал о работах его по сравнительной анатомии и в особенности по сравнительной остеологии. „Гумбольдт, писал тогда Гете, пробудил от зимней спячки мои естественнонаучные работы“. По достоверным свидетельствам царь поэтов с благодарностью признавал, что братья Гумбольдты со своей свежей юношеской страстью оказали на него величайшее влияние в ту пору, когда сам он уже начинал чувствовать пресыщение жизнью.

Шиллер тоже довольно часто встречался с Александром Гумбольдтом. Но любопытно, что его мнение о знаменитом естествоиспытателе резко отличается от мнения о нем Гете. Отозвавшись с величайшей похвалой о Вильгельме, он пишет затем об Александре: „При всех его колоссальных знаниях я нахожу у него скудость понимания, представляющую величайшее зло с точки зрения интересующих его проблем. Гумбольдт — это голый аналитический рассудок, имеющий бесстыдство желать измерить природу, величественную и вечно необъятную природу, и втискивающий ее с непонятной для меня дерзостью в свои формулы, которые представляют часто лишь пустые слова и всегда лишь узкие понятия. Словом, для занимающего его предмета он мне кажется слишком ограниченным рассудочным человеком. У него нет совсем воображения, так что, по моему мнению, ему недостает необходимейшей для его науки способности, ибо природа, как в своих наиболее частных проявлениях, так и в своих высочайших законах доступна только интуитивному созерцанию и ощущению“. Как жалко должны выглядеть современное естествознание и представители его перед этим, продиктованным чрезмерным идеализмом суждением Шиллера! Но в действительности успехи философии и науки в XIX в. обнаружили всю бессодержательность и внутреннюю противоречивость содержащейся в этих словах Шиллера насквозь субъективной оценки средств и целей естествознания. Не следует, однако, забывать, что при пользовании естественнонаучным методом наблюдаются иногда крайности, и в этом случае предостережения философского идеализма вполне уместны. Но Гумбольдт был далек от этих крайностей, и упреки по его адресу со стороны Шиллера были совершенно ошибочны².

¹ A. v. Humboldt, Versuch: über die gereizte Nerven- und Muskelfaser nebst Vermutungen über den chemischen Prozess des Lebens in der Tier- und Pflanzenwelt, 2. Bd-e, 1797—1799.

Поэтическое изложение своих взглядов на жизненную силу Гумбольдт дал в „Горах“ Шиллера (1795 г.) под заглавием „Die Lebenskraft oder der rhodische Genius“ („Жизненная сила или родосский гений“).

² Шиллер сам впоследствии выразил сожаление по поводу своего поспешного суждения о Гумбольдте и назвал его совершенно односторонним. (Примечание фон-Липпмана.)

Упомянем еще, что впоследствии, когда Гумбольдт признал все значение вулканической теории, Гете отказался следовать за ним и продолжал придерживаться устаревших нептунистических взглядов. Гете относился к представителям новой геологии не только с насмешкой, о чем свидетельствует ряд мест в его поэтических произведениях¹, но даже с каким-то озлоблением, уступившим место более справедливым суждениям только под конец его жизни.

Важнейшим событием и в то же время величайшим научным подвигом в жизни Александра Гумбольдта было предпринятое им с исследовательскими целями путешествие в Америку, первая крупная научная экспедиция, ставшая образцом для всех позднейших начинаний этого рода. После многолетних подготовительных работ и многочисленных трудов и разочарований, о которых нам трудно составить себе представление в наш век пароходов и железных дорог, Гумбольдт отплыл из Коруньи в июне 1799 г. Его спутником был ботаник Бонплан (Bonpland), ученик Жюссье (Jussieu).

О результатах этого путешествия одно из компетентнейших в данном вопросе лиц, великий географ Карл Риттер (Ritter) выразился впоследствии следующим образом: „Казалось, что на западе над Новым Светом поднялось новое светозарное и теплотворное солнце, пролившее свои благодетельные лучи на Старый Свет“². В силу ряда обстоятельств Гумбольдт стал благодаря своему путешествию в Америку творцом новой эпохи в физическом землеописании, эпохи теснейшей внутренней связи естествознания с географией. Подготовившись теоретически к своему предприятию путем многосторонних занятий в разных отраслях знания, Гумбольдт, далее, обеспечил успех его тем, что взял с собой лучшие астрономические и физические приборы. К этому у него присоединялось стремление изучить исследуемое им страны как нечто целое. Разумеется, в первую голову имелось в виду исследовать разные частные проблемы, но как высшая цель перед умственным взором Гумбольдта всегда носилась мысль об установлении закономерной связи между ними.

Мы не можем здесь следовать за Гумбольдтом в его странствовании по Южной и Центральной Америке. Но так как его путешествие стало образцом для всех позднейших экспедиций внутрь великих материков, то мы остановимся на некоторых пунктах из обширной программы его работ.

¹ Это настроение Гете выразилось очень ярким образом в следующих стихах:

Basalt, der schwarze Teufelsmoor,
Aus tiefster Höle bricht hervor,
Zerspaltet Fels, Gestein und Erden,
Omega muss zum Alpha werden:
Und so wär denn die liebe Welt
Geognostisch auf den Kopf gestellt.

(„Черный дьявол базальт вырывается из глубочайших глубин ада и раскалывает скалы, горные породы и земли. Омега должна стать альфой, и таким образом мир становится геогностически на голову“).

² Торжественная речь при чествовании Гумбольдта 5 августа 1844 г.

Из Коруньи путешественники направились к Тенерифу. Там был произведен первый предпринятый с научными целями подъем на гору, лежащую в субтропическом поясе. У подножия горы было найдено драконово дерево в 45 фут. охвата, которое Гумбольдт назвал одним из древнейших обитателей земли. У обрыва вершины, покрытой снегом только зимою, обнаружили ледяную пещеру. Сама вершина представляла характерные черты сольфатары. Далее, Гумбольдт устроил в горе пять растительных поясов, начиная от подножия ее с его виноградниками и кончая вершиной, где лишай действительно работали над разрушением вулканических шлаков.

Первую более или менее продолжительную остановку Гумбольдт сделал в Кумане, которая в течение столетий считалась очагом разрушительных землетрясений. Всего лишь за два года до прибытия Гумбольдта землетрясение окончательно разрушило город. Гумбольдт потратил не одну неделю на то, чтобы тщательно исследовать следы этого грозного стихийного явления. Через несколько месяцев после прибытия экспедиции в Куману произошло новое землетрясение, первое, пережитое нашим исследователем. О глубоком впечатлении, произведенном на Гумбольдта этим землетрясением, свидетельствует данное им описание его ¹.

Не менее знаменито описание величественного явления—падения метеоритов, наблюдавшегося Гумбольдтом в ноябре 1799 г. в Кумане. В течение немногих часов он смог насчитать тысячи упавших с неба звезд и болидов.

В начале 1800 г. путешественники проникли глубже в южноамериканский материк. Они исследовали бассейн Ориноко, пересекли однообразные льяносы, примыкающие к лесным областям больших рек, и исследовали электрического ската (*Gymnotus electricus*), ловлю которого так живописно изобразил Гумбольдт, а также реакцию мимоз на раздражение.

Чтобы исследовать Кордильеры, Гумбольдт задержался надолго в Квито. Оттуда он предпринял знаменитое восхождение на гору Чимборазо, считавшуюся тогда высочайшей горой на земном шаре, и достиг высоты, на которую до него не поднимался ни один человек ².

После путешествия по Мексике и кратковременного пребывания в Соединенных Штатах Гумбольдт поселился в Париже, где прожил почти 20 лет ³. Еще большее время заняло составление монументального труда, посвященного описанию его путешествия ⁴. Наряду с этим он находил еще досуг, чтобы заниматься вопросами

¹ „Путешествие в тропические страны Нового Света в 1799—1804 г.“. Немецкий перевод составленного Бинпланом и Гумбольдтом отчета о их путешествии появился в 1818—1829 г. у И. Г. Котты.

² По барометрической формуле 18 096 парижских фут.

³ 1803—1826.

⁴ 1805—1834 г. Продажная цена издания равнялась 9 500 франков. Издержки путешествия, совершенного на личные средства самого Гумбольдта, составили около 100 000 марок.

земного магнетизма, а в сотрудничестве с Гей-Люссаком — эвдиометрическими исследованиями¹.

Ни одна страна не оказала такого плодотворного влияния на немецкую науку в начале XIX в., как Франция. Революционная эпоха подействовала благотворным образом не только на политический строй европейских государств, но и на область точного исследования. В столице Франции ряд великих ученых, как Кювье, Лавуазье, Лаплас, Ампер, Гей-Люссак и многие другие, развили ту кипучую деятельность, которая подготовила почву для новейшего естествознания. Александр фон-Гумбольдт сыграл важную роль в качестве посредника между французской наукой и становившейся только на собственные ноги немецкой наукой. Не нужно быть мелочным и упрекать Гумбольдта за то, что в нем патриот отступал на задний план перед ученым. Наука не должна окапываться за национальными границами. Она должна брать свое добро повсюду, где она его находит. Тот, кто пишет историю науки, не имеет права умалять заслуги иностранных ученых в пользу заслуг своих соотечественников. Мы должны поэтому признать с благодарностью, что без школы, которую прошли во Франции немецкие ученые в течение первых десятилетий XIX в., Германия вряд ли могла бы вступить так скоро в научное состязание с Францией, а тем более перегнать ее во второй половине XIX в., как это признают без зависти и некоторые французские ученые.

Мы теперь скажем еще несколько слов о содержании монументального произведения Гумбольдта, посвященного его путешествию. Работа эта, в составлении которой приняли участие многочисленные ученые, состоит из шести частей, содержащих каждая несколько томов.

Первая часть (*Rélation historique*) заключает, кроме отчета о путешествии, составленного самим Гумбольдтом, историю географического открытия нового материка и атлас, состоящий из 39 карт².

Вторая часть посвящена зоологии и сравнительной анатомии. В составлении ее приняли участие Кювье, Латрей (*Latreille*) (для насекомых) и Валансьен (*Valenciennes*) (для рыб и мягкотелых).

Третья часть посвящена политической географии испанских владений в Америке, простиравшихся тогда от 38° северной широты до 42° южной широты.

В четвертой части содержатся астрономические, тригонометрические и барометрические измерения; пятая же посвящена геологии и географии растений исследованных стран.

Наконец, шестая часть уделена исключительно ботанике. В ней содержится обзор собранных растений и, кроме того, ряд мо-

¹ См. стр. 256 настоящего тома, а также № 42 остальдовской серии классиков точного знания.

² Крупнейшим произведением картографической литературы того времени является ручной атлас Штилера (*Stieler*) с 75 картами (1817—1834 гг.). 8-е издание (1901—1905 гг.) содержит 100 карт. Готовится к выходу 10-е (юбилейное) издание с 108 картами. *J. Perthes, Geographische Anstalt in Gotha.* Г. Берггауз выпустил особый атлас по физическому землеведению. Первое издание появилось в 1838—1848 гг. (*J. Perthes, Gotha*), последнее — в 1886—1892 гг.

нографий о мимозах, о новооткрытых травах и о тропическом семействе меластомей, многочисленные виды которого встречаются в Южной Америке¹.

В 1827 г. Гумбольдт по настойчивому желанию своего государя должен был променять столь полюбившийся ему Париж на прусскую столицу, в духовном отношении далеко уступавшую столице Франции. Теперь перед Гумбольдтом, достигшим почти 60-летнего возраста, встала новая жизненная задача, именно осуществление давно задуманного им плана физического мироописания. Но прежде чем Гумбольдт приступил к составлению своего „Космоса“, он в сопровождении зоолога Эренберга (Erenberg) и минералога Рёзе (Rose) предпринял по поручению русского царя кратковременную, но давшую богатые результаты экспедицию в Азиатскую Россию. Гумбольдт и его спутники посетили Алтайские рудники, перешли китайскую границу и пересекли затем необъятную степь, чтобы добраться до Южного Урала. С геологическим исследованием этой горной цепи связано знаменитое предсказание Гумбольдта, что Урал со своими залежами золота и платины представляет настоящее Эльдorado². Во время посещения Каспийского моря путешественники сделали многочисленные наблюдения и собрали материал для подготавливавшегося Кювье и Валансьеном большого сочинения о рыбах.

„КОСМОС“ ГУМБОЛЬДА

Мы переходим теперь к самому зрелому творению Гумбольдта, сделавшему столь популярным его имя, именно к „Космосу“, как он назвал свой очерк физического мироописания. В основе этой книги лежат лекции, прочитанные Гумбольдтом после его приезда в Берлин перед большой аудиторией, в присутствии короля и двора, — лекции, явившиеся событием зимы 1827/28 г. Как и монументальный труд о южноамериканском путешествии, „Космос“ составил эпоху в немецкой и во всемирной литературе³. Если отдельные частности его устарели или же оказались ошибочными, то как целое он сохранит навсегда свое значение, и не только с научной стороны, но и с литературно-художественной. Современному поколению, с его часто слишком трезвым и рассудочным взглядом на природу манера письма Гумбольдта может показаться чересчур претенциозной, а его язык обремененным образами. Но не следует забывать того, что именно Гумбольдт научил немцев писать

¹ Полный указатель содержания этого монументального труда, издание которого поглотило остаток со дня Гумбольдта, содержится в большой научной биографии Александра фон-Гумбольдта составленной Брунсом (Bruhns) вместе с Дове, Пешелем, Гривебахом (Griesebach), Карусом (Carus) и другими учеными (3 тома, Брокгауз, 1872). Некоторые части книги появились в немецком переводе; сюда относится, например, описание путешествия, составленного под редакцией Гумбольдта (4 тома, Штутгарт 1859 — 186).

² Поводом для азиатского путешествия Гумбольдта была выраженная русским министром финансов в 1827 г просьба сообщить свои соображения насчет использования открытой на Урале платины

³ „Космос“ был переведен на 11 иностранных языков.

о научных вещах в безупречной в художественном отношении форме. Чтобы оценить значение в этом отношении „Космоса“, достаточно сравнить его с безнадежно сухими описаниями большинства прежних естественнонаучных сочинений и с пустыми, полными непонятной мистики фразами представителей натурфилософии, подчинившей себе в первую четверть XIX в. немецкую мысль.

Лекции, из которых возник „Космос“, составили тоже в известном отношении эпоху. Они явились первой и исключительно удачной попыткой перебросить мост через пропасть, отделяющую толщу народных масс от науки. Лекции Гумбольдта слушали с величайшим вниманием около тысячи слушателей из разных кругов общества, начиная „от короля и кончая простым каменщиком“.

План „Космоса“ возник в уме Гумбольдта уже в 90-х годах универсалистского XVIII в., вероятно, под влиянием Иено-Веймарского кружка¹. „На закате бурной жизни, — говорит Гумбольдт в введении к своему труду, — я вручаю публике произведение, туманные контуры которого носились перед моей мыслью полвека тому назад“.

Первый том Гумбольдт называет общей картиной природы, общим описанием ее; начинаясь с отдаленнейших туманных пятен и вращающихся двойных звезд, оно постепенно спускается к тому звездному скоплению, к которому принадлежит наша солнечная система, переходя затем к окруженному воздушным и водным океаном земному шару, к его фигуре, температуре, магнитному состоянию и, наконец, к органическому миру, который, получив импульс к существованию от света, развертывает богатство своих форм на поверхности земли. Поставленная себе Гумбольдтом задача была по своему охвату весьма обширной. Но по цели своей как „картина“ мира, как „мироописание“ она уже не соответствовала требованиям стремившегося к более глубокому познанию каузальной связи XIX в., важнейшим достижением которого было дальнейшее развитие математической физики и установление принципа сохранения энергии.

Гумбольдт своим „Космосом“ хотел удовлетворить особое чувство, которое можно назвать эстетическим восприятием природы, чувство, из которого выросло также восприятие природы Гете и которому он дал во многих местах своего „Фауста“ столь глубокое и могучее выражение. Эту задачу Гумбольдт решил уже в первом томе своего творения. Что Гумбольдт находился под влиянием именно этого настроения, видно из следующих, сказанных им в одном месте о Гете слов: „Кто обнаружил большее красноречие чем он, чтобы побудить своих современников приступить к решению священных мировых загадок и возродить существовавший в юношескую пору человечества союз между философией, природоведением и поэзией“.

Во втором томе Гумбольдт ставит себе другую задачу, тесно связанную, однако, с физическим мироописанием. Он дает в нем

¹ Bruhns, т. 2, стр. 357.

историю физического мировоззрения и прослеживает на протяжении веков „стремление человечества понять гармоническую деятельность сил природы на земле и на небе“. Благодаря этому Гумбольдт сделал весьма многое для создания истории естествознания. И так как работа его покоится на данных, почерпнутых из надежных источников, то она сохранит длительное значение. Главными моментами истории физического мировоззрения Гумбольдт считает эллинскую культуру, цивилизацию арабов, служивших посредниками между древностью и новым временем, и сделанные южноевропейскими и западными народами открытия и изобретения. Все это изложено столь ясно, что очерк Гумбольдта сохранит свое значение для всех времен.

В дальнейших томах „Космоса“ характер всего труда претерпевает еще более значительные изменения. Это объясняется тем, что составление книги затянулось на десятки лет, во время которых сама наука вступила в новую фазу своего развития благодаря открытию принципа сохранения силы. Гумбольдт пытался приспособиться к новому направлению науки, но это ему уже не удалось. Между тем и его современники и он сам начинали все более и более созрывать, что его восприятие природы должно уступить место новому типу мировоззрения, являющемуся истинным продолжением дела Ньютона, Гюйгенса и руководящих умов XVIII в.

Последние томы посвящены преимущественно астрономии и геофизике. Они носят более ученый характер и в литературном отношении сильно уступают первым томам, которые являются образцом популярного в благороднейшем смысле слова изложения. Гумбольдт работал еще над пятым томом своего „Космоса“, когда 25 апреля 1859 г. неутомимого 90-летнего исследователя настигла смерть.

„ИДЕИ К ГЕОГРАФИИ РАСТЕНИЙ“ ГУМБОЛЬДТА

В чисто научном отношении главные заслуги Гумбольдта лежат в области географии растений. Он не ограничивался простым изучением флоры посещенных им во время своих путешествий стран. Он стремился скорее к тому, чтобы понять мир растений в его зависимости от климата и почвы и чтобы вскрыть всеобщие, царящие здесь закономерности.

Но прежде чем остановиться на заслугах Гумбольдта перед географией растений, мы должны упомянуть того ученого, который был его предшественником в этом вопросе и которому он обязан большинством своих идей. Мы имеем в виду Вильденова¹, племянника упоминавшегося уже нами Гледича² и преемника последнего по заведыванию Берлинским ботаническим садом. Вильденов был тесно связан с Гумбольдтом и склонил его к занятиям ботаникой. Его можно считать духовным отцом работы Гумбольдта „Идеи к географии растений“. В своем „Очерке науки о травах“ Виль-

¹ Карл-Людвиг Вильденов, Берлин 1765 — 1812.

² См. стр. 83 настоящего тома.

денов коснулся уже тех вопросов, о которых трактует Гумбольдт в названном сочинении. Тот же Вильденов установил границы между средневропейской и средиземноморской флорой и отличил между собой три великие области северной, тропической и южной флоры. Далее, Вильденов отчетливо подчеркивал зависимость распространения растений от климата, от свойств почвы и от миграций, — словом, от того, что наука теперь называет климатологическим геологическим и миграционным моментами.

Стремление объяснить распространение жизни на земле на основании закономерных действующих причин и прежде всего на основании господствующих физических условий открыло совершенно новые пути для научного исследования. Решающая в этом отношении инициатива Гумбольдта является, несомненно, крупнейшей из чисто научных заслуг его. „Идеи к географии растений“ были первой опубликованной им по возвращении из Южной Америки работой, и они появились (1805 г.) вместе с „Картиной природы тропических стран“. Основным материалом для новой науки географии растений, не имевший до того даже особого имени, Гумбольдт собрал во время своего путешествия в Южную Америку. Так, „Идеи“ написаны большей частью у подножия Чимборазо.

Уже у предшественников Гумбольдта встречается мысль о необходимости установить распределение растений в пространстве, но Гумбольдт не ограничился одним этим. Он стремился объяснить распределение и типическую организацию растений в связи со всеми действующими в настоящее время на земную поверхность силами и с историей нашей планеты¹.

Приступая к своей работе, Гумбольдт нашел лишь немногие скромные намеки в избранной им области. По существу и ему удалось только наметить основные линии и цели новой науки. Ведь сама история земли стала настоящей наукой лишь после победы эволюционного учения над догматом о постоянстве видов. К проблеме эволюционного учения относится замечание Гумбольдта, что география растений должна исследовать, имелись ли среди бесчисленных растений на земле некоторые первичные формы. Происхождение различных видов, говорит он, может быть, можно объяснить действием вырождения и отклонения от этих первичных форм².

Правда, прибавляет к этим словам Гумбольдт, повидимому, все населяющие в настоящее время землю растения и животные не потеряли на протяжении тысячелетий своей характерной формы. Так, например, ибис, который встречается в египетских гробницах, тождествен с ибисом, который в наше время ловит рыбу на берегах Нила³. С другой стороны, Гумбольдт указывает на изменения, которые испытала земля в течение бесчисленных веков своей истории и которые должны были вызвать соответствующие изменения в мире животных и растений. Географию растений следует

¹ „Ideen“, стр. 2.

² „Ideen“, стр. 10.

³ „Ideen“, стр. 21.

поэтому связать с геологией¹, чтобы иметь возможность пролить свет на первобытную историю земли. Желая составить себе представление о существовавшем в прежние времена соединении соседних массивов суши, геологи учитывают сходство формаций и расположения береговых гор и глубину отделяющего участки суши моря. Но при решении этого вопроса не менее важные услуги может оказать и география растений. Так, например, благодаря доставляемым ею данным становится вероятным, что Южная Америка отделилась от Африки до развития органической жизни на земле. При помощи географии растений можно рассеять мрак, окутывающий древнейшее состояние нашей планеты. Так, можно будет решить вопрос, появились ли различные органические виды одновременно во многих пунктах земной коры или же они развились первоначально в одной местности, откуда по неизвестным нам путям они мигрировали затем в другие части света.

Гумбольдт рассматривает затем обстоятельства, под влиянием которых могла расшириться первоначальная область распространения какого-нибудь растительного вида. Среди этих обстоятельств он выдвигает в особенности воздушные и морские течения и перенос зародышей растений животными. Но как ни велики эти влияния, они, по мнению Гумбольдта, играют ничтожную роль по сравнению с влиянием, оказываемым человеком на распространение растений. „Современные огородные и земледельческие растения сопровождали странствующее человечество испокон века“². Поэтому вопрос об их первоначальном отечестве является часто столь же трудной загадкой, как и вопрос о родине различных человеческих рас. Далее, Гумбольдт показывает, как в земледелии устанавливается господство чужих, иммигрировавших растений над туземными, которые постепенно оттесняются на все более и более суживающуюся площадь. Относительно тропического мира Гумбольдт заметил также удачно, что человек слишком слаб, чтобы победить растительность, которая не оставляет ничего непокрытым и скрывает от наших глаз почву.

Далее, Гумбольдт впервые обратил внимание ботаников на те явления растительного мира, которые определяют физиономию пейзажа. Одной из важнейших заслуг Гумбольдта является физиономическая классификация растений в зависимости от способа развития их вегетативных органов³.

Но физиономия как-нибудь флоры представляет интерес не только с эстетической точки зрения. Внутренняя связь между всей формой растений и физическими условиями их существования выражается в ней гораздо резче, чем в признаках, положенных в основу систематической классификации растительного царства.

Руководясь этой точкой зрения, Гумбольдт установил среди бесчисленного множества растительных видов около 20 различных

¹ „Ideen“, стр. 15.

² „Ideen“, стр. 17.

³ Bruhns (Grisobach), III, 248.

основных форм, к которым можно, вероятно, свести все виды. Важнейшими из этих вегетативных форм являются банановая форма, пальмовая форма, формы хвойных и орхидей. Далее, следует упомянуть мимозовую форму с ее тонко оперенными листьями, форму лилии с ее простыми, в нежных полосках листьями, кактусовую форму с ее лишенными листьев колючими стволами и травянистую форму. Среди бесцветковых растений Гумбольдт отличает формы листовых мхов, лишайев и шляпных грибов. Иногда эти формы совпадают с крупными подразделениями естественной системы растений. Однако чаще мы встречаем у далеко отстоящих друг от друга по строению своих цветков и плодов растений одинаковый, обусловленный свойствами климата и почвы внешний вид.

Г. Б. де-Соссюр впервые исследовал в Альпах распределение растений на различных высотах. До Гумбольдта встречались также случайные указания на то, что растения какой-либо горной цепи, например Пиренеев, обнаруживают известное сходство с растениями более северных широт. Но только Гумбольдт первый формулировал эту всеобщую закономерность связи высот с далекими равнинами северных широт¹. Благодаря находившемуся в его распоряжении обширному материалу, Гумбольдт сумел установить для тропиков различные растительные пояса, сменяющие друг друга при подъеме на гору. В виде примера укажем на перечень растительных поясов, установленных Гумбольдтом на скатах Кордильер Квито².

Нижний пояс — это пояс пальм и банановых растений. Он поднимается от уровня моря до высоты в 1 000 м. Непосредственно за ним лежит пояс папоротниковых. За этим следует пояс дубов (до 3 000 м) и пояс альпийских трав, который между 4 100 и 4 600 м сменяется альпийскими растениями, последними цветковыми растениями. Начиная отсюда и до границы вечных снегов одни только лишайи оживляют голые скалы³.

Гумбольдт показал смену определенных растительных поясов также на примерах мексиканских Анд и Tenerifского пика.

Этот короткий очерк в достаточной мере показывает крупные заслуги Гумбольдта в деле основания географии растений. Правда, большинство занимавших его в этой области проблем остались в первое время нерешенными. Однако биограф его мог с полным правом спросить⁴, не принадлежит ли исследователю, поставившему вопросы, которые дадут толчок творческой работе последующих поколений, такая же крупная заслуга, как и исследователю, сумевшему дать решение некоторых частных научных проблем.

Гумбольдт считал желательным установить и в зоологии нечто аналогичное найденным им в области ботаники растительным поясам. „Было бы интересно, — говорит он, — определить, до каких высот поднимаются в горных странах различные животные“. Он имел в виду при этом зависимость животной жизни от метеорологических

¹ „Relation historique“, I, 600.

² „Naturgemälde der Tropenländer“, стр. 58 — 76.

³ „Naturgemälde“, стр. 76.

⁴ Bruhns, III, 236.

условий. И вообще он обогатил зоологию не столько конкретными частными исследованиями, сколько постоянными указаниями на внутреннюю связь жизни животных с ее физическими условиями.

УСПЕХИ ГЕОЛОГИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАБОТ ФОН-БУХА И ГУМБОЛЬДА

И в геологии главная заслуга Гумбольдта заключается в постоянном подчеркивании им значения общих концепций. Он сумел связать геологию с землеведением таким точно образом, каким он связал последнее с ботаникой.

В начале своей научной карьеры Гумбольдт находился целиком под влиянием геологической теории непутизма, основанной его учителем Вернером. Особенно ожесточенный спор между непутистами и вулканистами происходил по вопросу о происхождении базальта. Первая работа Гумбольдта тоже касалась этой проблемы¹. Он решал ее в согласии со взглядами Вернера, так как по его наблюдениям над базальтами вблизи Линца и Ункеля ничто в них не давало права заключать о действии вулканических сил.

Лет десять спустя Гумбольдт начал свое американское путешествие, задача и результаты которого в значительной мере относились к области геологии. Во время исследования Кордильер и обработки обильного найденного там материала в его геологических воззрениях произошел полный переворот, имевший решающее значение и для дальнейших судеб геологии. Под влиянием этого стали приписывать вулканическое происхождение не только базальту, но и граниту, а также трахитам и порфирам. Более тонкий механический анализ базальта показал, что несмотря на свой кажущийся однородный вид он представляет собой смесь разных минералов и подобен по своему составу граниту².

Основное значение для теории вулканизма имело прежде всего наблюдение Гумбольдта, что в горах Америки трахиты встречаются по соседству с вулканами и как бы возвещают близость их. Гумбольдт, далее, обратил внимание на встречающийся иногда постепенный переход от трахитов к породам стеклянистого и шлакового состава. Так как последние (оксидиан, пемза) еще и в настоящее время встречаются в виде продуктов деятельных вулканов, то заключение о вулканическом происхождении постепенно переходящих в них горных пород было вполне правомерно.

Убеждение в том, что вулканические породы гораздо более распространены, чем это предполагали ранее, привело Гумбольдта и его сотрудника А. фон-Буха к переоценке значения вулканизма. Так, фон-Бух утверждал, что Альпы в большинстве других горных цепей были подняты порфиром при его извержении из внутренности земли³. Даже доломит согласно этой точке зрения возник под дей-

¹ „Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein“, 1790.

² Cordier, 1815, „Journ. Min.“, XXXVIII.

³ „Annales de Chimie“, 1823.

ствием вулканических сил, ибо предполагалось, что паробразная окись магния проникла в известняк, образовав в соединении с ним углекислую известь и углекислую магнезию.

Аналогичным образом Гумбольдт объяснял происхождение американских гор Анды и цепь Венецуэльских гор поднялись, по его мнению, над продольными земными трещинами, группы же гор — над сетью трещин, при этом действовавшее изнутри наружу давление подняло твердые массы и выдавило огненножидкие вещества. С этой точки зрения горы являлись свидетелями грандиозных катастроф, мощных революций земли. Гумбольдт, правда, старался смягчить катастрофическую сторону этой теории, господствовавшей в первую половину XIX в., указанием на сравнительно ничтожную массу поднятого изнутри земли вещества. Так, если бы распределить Альпы на всю поверхность Европы, то это дало бы повышение ее только на 20 фут.

И вулканы, цепное расположение которых Гумбольдт установил при исследовании южноамериканского материка; возникли по его и фон-Буха мнению путем подъема. Из расположения вулканов они с полным правом умозаключили о наличии трещин в земной коре. По господствовавшему тогда представлению вулканы образовались над этими трещинами не путем накопления массы шлака и лавы; вулканические силы действовали „формообразующе¹ путем подъема почвы“. Благодаря этой деятельности возникает пузыреобразное вздутие почвы, а когда верхушка его, наконец, лопнет, то получается „кратер подъема“. Таким образом оба исследователя предполагали, что большие вулканы образовались не путем постепенного накопления шлаков и лавы, а как бы возникли сразу. Только после великого переворота в геологических воззрениях, происшедшего под влиянием Ляйелля (Lyell) и его учеников, в образовании вулканов стали видеть результат не внезапных катастроф, а постепенного процесса.

С вулканической деятельностью Гумбольдт связал землетрясения, сведя оба явления к одной и той же причине. Заключенные в глубинах земли пары, которым приписывались происхождение вулканов и их извержения, вызывают согласно этой точке зрения в случае отсутствия выхода для них землетрясения. Этим объясняется и известное замечание Гумбольдта (намек на такое представление встречается еще у Страбона), что вулканы являются своего рода предохранительными клапанами. В виде примера Гумбольдт приводит один южноамериканский вулкан, деятельность которого внезапно прекратилась, между тем как одновременно с этим по соседству с ним произошло одно из самых грозных землетрясений.

Если со времен Гумбольдта и Буха взгляды на причины геологических процессов во многом изменились, то мы все же не должны забывать, что эти ученые впервые приступили к научному исследованию вулканов и землетрясений. До южноамериканского путе-

¹ „Kosmos“, т. 4, стр. 270.

шествия Гумбольдта Везувий и Этна были единственными более или менее исследованными вулканами¹. Что касается землетрясений, то не столько интересовались изучением геологических и физических причин их, сколько описанием их разрушительных действий. Гумбольдт же со своим устремлением к широким обобщениям начал рассматривать самые различные теллурические явления, для которых он пользовался термином вулканизм, как продукты одной и той же причины. Все они, по его мнению, состоят в реакции горячей внутренности земли на земную кору, хотя в одних случаях они проявляются как землетрясения, в других — как теплые источники, газовые испарения, грязевые извержения или же как вулканические извержения. Гумбольдт во всех этих явлениях видел различные ступени вулканической деятельности нашей планеты и, руководясь этой точкой зрения, сумел обогатить науку такой массой конкретных наблюдений, как это сделали лишь немногие исследователи до него и после него.

¹ Bruhns, т. 3, стр. 184.



РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛОГИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последний раз мы занимались минералогией в заключительной главе предыдущего тома. Для Линнея и Вернера минералогия была по существу описанием минералов. К концу XVIII в. Шееле и Бергман стали заниматься главным образом химическим составом неорганических тел природы. Огромные успехи физики и химии, с которыми мы познакомились в первых главах настоящего тома, оказали сильное влияние на дальнейшее развитие минералогии. Правда, особенный интерес для исследователей представляла, как и прежде, форма минералов. Но взамен простого описания теперь возникло стремление свести запутанное многообразие форм к немногим основным законам. Этому стремлению содействовало то обстоятельство, что изобретенный Волластоном отражательный гониометр (1809 г.)¹ явился превосходным орудием для точного исследования даже малых кристаллов.

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Большое значение для дальнейшего развития минералогии имело также учение Гаюи (Haüy). По теории Гаюи² строение и форма кристалла зависят только от формы и распределения составляющих его частей. Среди форм, в которых встречается в природе какое-нибудь кристаллизованное вещество, существует одна, которую нужно считать первичной. Из нее могут быть выведены все остальные формы как вторичные образования. Первичной формой Гаюи считал получающуюся при разрушении кристалла форму спайности, отличающуюся постоянством. Рис. 64 и 65 показывают, как из куба путем различного сложения элементарных кубиков получается ромбический додекаэдр и пентагондодекаэдр³.

¹ „Description of a reflective Goniometer“, „Phil. Transact.“ 1809.

² Haüy, *Essay d'une théorie sur la structure des cristaux*, Paris 1784.

³ См. также Haüy, *Exposition de la structure des cristaux*, см. „Annales de chimie“, 1783, т. 17, стр. 225 и сл.

За несколько лет до того Гаюи тщательно описал сложные кристаллические формы, встречающиеся у ставролита. См. „Annales de Chimie“, т. IV, 1790.

Подобные соображения привели Гаюи к открытию основного закона, господствующего в мире минералов, а именно закона рациональности отрезков осей. Согласно этому закону, числа, по которым вторичные формы выводятся из основной формы, всегда рациональные и простые, например 2, 3, $\frac{3}{2}$ и т. д. Так, у особенно часто встречающегося куба-пирамиды каждая из 24 плоскостей параллельна одной оси и пересекает две другие оси в отношении 1:2. В соответствии с этим знак этой формы $a:2a:\infty a$. Далее встречаются кубы-пирамиды со знаками $a:3a:\infty a$ и $a:\frac{3}{2}a:\infty a$ (вообще говоря $a:na:\infty a$ или, по способу обозначения Наумана, $\infty 0n$).

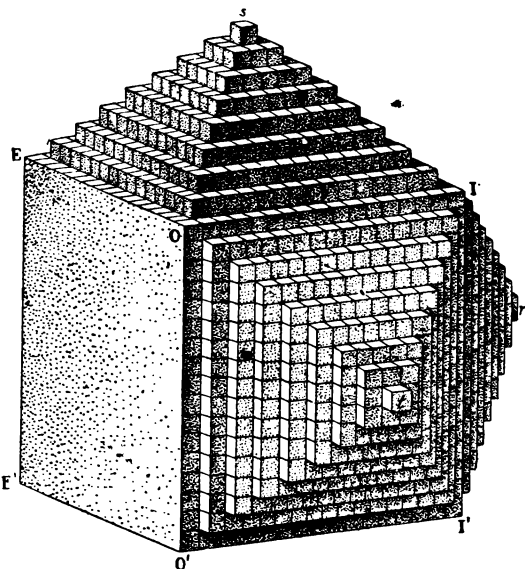


Рис. 64. Гаюи выводит форму ромбического додекаэдра.

В первые десятилетия XIX в. было завершено обоснование кристаллографии. Вейсс (Weiss) открыл закон гемияэдрии, после того как еще до него было найдено¹, что двенадцатигранный пентагондодекаэдр ($\frac{\infty 0n}{2}$, $n=2, \frac{3}{2}, 3$ и т. д.) получается из двадцатичетырехгранного куба-пирамиды ($\infty 0n$), „когда законы действуют лишь наполовину“.

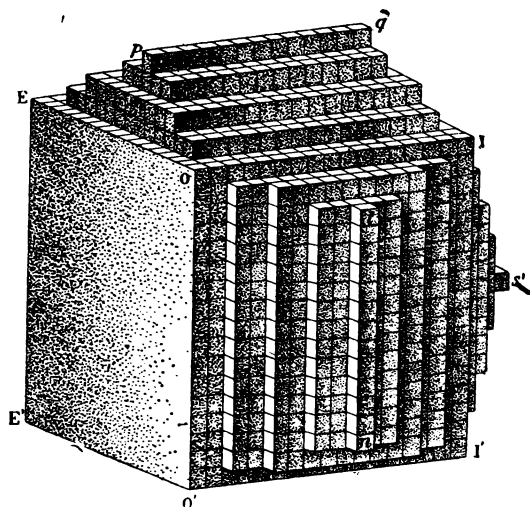


Рис. 65. Гаюи выводит форму пентагондодекаэдра.

Почти в то самое время, когда Берцелиус создал химическую символику, Вейсс и Науман ввели простые знаки, осно-

¹ Bernhardt über die Kristallisation des Arsenkieses. Gehlens Journal für die Chemie und Physik, III, 1807.

ванные на допущении осей кристаллов; эти знаки, употребляемые еще и в настоящее время, дали возможность выразить в ясной форме результаты кристаллографических исследований.

ФОРМА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ

С тех пор, как в систематике минералов победило химическое направление, которому оказали особенно большие услуги Берцелиус, Бергман и Клапрот (Klaproth), ученые благодаря усиленным занятиям анализом познакомились с множеством новых минералов, число которых за промежуток времени от смерти Вернера до выхода истории минералогии Кобелля (Kobell) (1817—1864 гг.) почти утроилось.

Комбинация результатов химического анализа и описания кристаллов привела также к открытию новых важных фактов. Два известных минерала, известковый шпат и арагонит, до тех пор часто смешиваемые друг с другом, обладают, как показал Гаюи, формами, которые не могут быть выведены одна из другой. Между тем минералог Клапрот¹, которому наука обязана множеством анализов минералов и который открыл цирконовую, урановую и титановую земли, показал, что оба эти минерала химически совершенно тождественны, представляя собой карбонат кальция. В то время многие ученые считали совершенно невозможным, чтобы одно и то же вещество могло образовать два совершенно различных минерала. Гаюи тоже считал такое допущение несовместимым с принципами своего учения. Поэтому сперва полагали, что различия в форме и в физических свойствах между известковым шпатом и арагонитом вызываются какими-то примесями; сторонники этого взгляда торжествовали, когда некоторым исследователям удалось обнаружить в арагоните присутствие стронция будто бы как постоянной составной части его. Однако вскоре был найден арагонит без всякой примеси стронция, после чего пришлось окончательно признать существование новооткрытого явления, которое назвали диморфизмом.

Но был открыт также и противоположный факт, именно что два минерала различного химического состава могут иногда иметь одинаковую кристаллическую форму, как например известковый шпат и шпатовый железняк. Между тем Гаюи считал математически доказанным, что различные вещества—за исключением тех, которые кристаллизуются в правильной системе,—не могут обладать одинаковой формой. По его мнению, известковый шпат превращается в шпатовый железняк, не изменяя формы, аналогично с окаменелым деревом. Но гениальный Митчерлих (Mitscherlich), проложивший новые пути почти во всех областях химии и минералогии, доказал окончательным образом, что в данном случае мы имеем дело не с каким-то случайным явлением, а что кристаллическая форма тесно связана с химическим составом тел.

¹ Мартин-Генрих Клапрот родился в 1743 г. в Вернигероде. Он изучал сперва фармацию. Со времени основания берлинского университета (1810 г.) он занимал в нем кафедру химии. Клапрот умер в 1817 г. в Берлине.

Эйльгард Митчерлих родился в 1794 г. недалеко от Иефера. Под влиянием историка Шлоссера (Schlosser), бывшего в иеферской гимназии его учителем, он обратился сначала к изучению филологии и истории; наряду с этим, но скорее между прочим, он занимался и естественными науками. Между тем именно в этой области через несколько лет после того, как он занялся ею, Митчерлиху удалось сделать одно из важнейших научных открытий, предопределившее всю его дальнейшую карьеру. Это было упомянутое уже нами явление изоморфизма минералов сходного состава, о котором более подробно речь будет идти ниже. Митчерлих сделал это открытие в 1818 г. в Берлине, где вскоре после того оказался проездом великий скандинавский химик Берцелиус. Берцелиус быстро оценил дарование своего молодого товарища по специальности и склонил его переехать в Стокгольм, чтобы там в лаборатории Берцелиуса продолжать начатые в Берлине исследования. В 1821 г. Митчерлих вернулся в Берлин, куда 27-летнего ученого удалось привлечь тем, что его назначили членом Академии наук и поручили ему освободившуюся за смертью Клапрота кафедру химии. Митчерлих умер в Берлине в 1863 г.

До Митчерлиха было уже сделано немало наблюдений, являвшихся как бы переходными ступенями к его учению об изоморфизме. Гей-Люссак нашел, что медный купорос кристаллизуется в форме железного купороса, если последний примешан к нему в небольшом количестве. Далее, было известно, что в квасцах калий может быть замещен аммонием и натрием. В связи с этими фактами указывали на то, что и в минеральном царстве встречаются аналогичные явления, которые обозначили словом „викариировать“, т. е. взаимно замещать друг друга¹.

Впоследствии (1819 г.) Митчерлих показал, что викарирующие составные части минералов обладают сходным химическим составом и что это сходство влечет за собой тождество или приблизительное тождество кристаллических форм. Митчерлих показал, что это явление, названное им изоморфизмом, наблюдается в особенности в искусственно приготовленных соединениях, как например в солях, образуемых фосфорной и мышьяковой кислотами с одним и тем же металлом². По исследованиям Митчерлиха сульфаты железа и кобальта, а также кристаллизующиеся с 7 молекулами воды сульфаты магния, никеля и цинка также дают кристаллы совершенно одинаковой формы. Наряду со шпатовым железняком цинковый шпат и марганцевый шпат тоже оказались минералами, изоморфными с известковым шпатовым. Уже из приведенных примеров видно с достаточной ясностью, что сое-

¹ Фукс (Fuchs) в журнале Швейгера (Schweigger) от 1815 г.

² Вводимые им в обе кислоты металлы были: калий, натрий, барий, свинец.

³ Mitscherlich, Über die Kristallisation der Salze, „Abhandlungen der Berliner Akademie“, 1818/1819. Опубликованное Митчерлихом в 1821 г. исследование об отношении между химическим составом и кристаллической формой солей мышьяковой и фосфорной кислот было переиздано в виде 94-го тома оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1898.

динения, у которых Митчерлих наблюдал изоморфизм, имели аналогичный химический состав.

На изучение фосфорнокислой и мышьяковокислой солей Митчерлиха натолкнуло то, что Берцелиус при исследовании фосфорной и мышьяковой кислот нашел отклонения от общего правила. Действительно, как установил Берцелиус, количества кислорода, с которыми оба эти элемента соединяются в кислоты, относятся между собой как 3:5 (P_2O_3 , P_2O_5 ; As_2O_3 , As_2O_5).

Занимаясь в 1818 г. в берлинской лаборатории проверкой этих пропорций и исследуя с этой целью также соли соответствующих кислот, Митчерлих с изумлением увидел, что формы кристаллов этих солей, казалось, были одинаковыми. Поэтому он попросил Г. Розе (Rose), впоследствии столь прославившегося минералога, помочь ему в его дальнейших исследованиях. В совместной работе оба исследователя установили, что аналогичные по химическому составу соли фосфорной и мышьяковой кислот обладают одинаковой кристаллической формой.

Благодаря своим исследованиям Митчерлих пришел к тому общему выводу¹, что, если некоторое одинаковое количество атомов соединено между собой одинаковым образом, то это приводит к одинаковой кристаллической форме; иначе говоря, что кристаллическая форма зависит не от природы атомов, а от их количества и способа связи между собой. Впоследствии, однако, он убедился, что наряду с количеством элементарных частиц имеет известное значение и химическая природа их.

Свою знаменитую работу, в которой он установил учение об изоморфизме, Митчерлих заканчивает следующими словами: „Я надеюсь, что посредством изучения кристаллизации можно будет находить отношения составных элементов тел с такою же определенностью, как и посредством химического анализа“. Явления изоморфизма Митчерлих и Берцелиус использовали с тех пор также и обратно для того, чтобы доказать сходство атомистической структуры изучаемых соединений. В соответствии с этим Берцелиус, считавший открытие изоморфизма важнейшим открытием, сделанным со времени установления учения об определенных пропорциях, рассматривал количества элементов, замещающие друг друга в изоморфных кристаллах (как например кобальта и железа в их сульфатах) и связанные с одинаковым количеством кислорода, как их относительные атомные веса. Берцелиус применил новооткрытое явление для проверки правильности его собственных определений атомных весов. Результатом этой, проведенной в широком масштабе работы была исправленная им система атомных весов от 1821 г.

Митчерлих доказал также, что диморфизм может быть вызван искусственно и что он находится в зависимости от физических условий, при которых совершается кристаллизация². Так, он получал серу в различных формах, смотря по тому, выкристаллизовывался ли

¹ Ostwalds Klassiker, № 94, стр. 54.

² „Abhandlungen der Berliner Akademie“, 1822/23, стр. 43 и сл.

этот элемент из раствора или из расплавленной массы. Аналогичным образом был впоследствии объяснен и диморфизм карбоната кальция¹. Когда это вещество осаждается при обыкновенной температуре, то оно принимает форму известкового шпата. Когда же осадок получается из горячего раствора, то образуются кристаллики арагонита.

Другим вкладом в кристаллографию было сделанное Митчерлихом открытие, что кристаллическая форма изменяется непрерывным, хотя и незаметным образом вместе с температурой и что это изменение в свою очередь тесно связано с формой кристаллов, в особенности с расположением осей. Исследование Митчерлиха привело в частности к следующим результатам: под влиянием нагревания кристаллы правильной системы расширяются равномерно по всем направлениям; их углы при этом не изменяются. Наоборот, кристаллы гексагональной системы—как Митчерлих в этом убедился на основании изменения величины углов кристаллов от нагревания—расширяются в направлении главной оси иначе, чем в направлении побочных осей. Наконец, кристаллы ромбической системы, в соответствии с различием их трех осей, расширяются от нагревания различным образом по всем трем направлениям. Это термическое исследование кристаллов, дополненное другими исследователями со стороны наблюдаемых у кристаллов оптических явлений, стало одной из основ физической кристаллографии.

Митчерлих был также одним из основателей² еще молодой, но успешно развивавшейся науки о синтезе минералов. Наука эта занимается искусственным получением минералов, чтобы лучше изучить условия, при которых происходит их естественное возникновение. Митчерлих доказал, что встречающиеся в шлаках кристаллические образования часто тождественны с известными уже минералами, как например слюда и авгит.

Параллельно со всеми этими исследованиями шло непрерывное усовершенствование методов и аппаратуры. Среди новых приборов следует в особенности упомянуть митчерлиховский гониометр с трубкой, далеко превосходивший по точности измерения углов волластоновский гониометр.

Работы Митчерлиха в области чистой химии относились главным образом к органическим соединениям; о них речь будет в другом месте. Здесь мы упомянем только его исследование марганца, приведшее к открытию марганцовистой и марганцевой кислот.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Заслуги упомянутого только что наряду с Митчерлихом Клапрота относятся прежде всего к области минералогической химии. Мы рассмотрим их здесь вкратце, как мы это сделали относительно

¹ G. Rose, 1837, „Poggendorffs Annalen“ XLII.

² „Abhandlungen der Berliner Akademie“ von 1822—1823.

работ Митчерлиха. Деятельность этих двух ученых показывает лучше всего, на какой высокой ступени находилось в Германии уже в конце XVIII и в первые десятилетия XIX в. химическое и минералогическое исследование.

Мартин-Генрих Клапрот родился в 1743 г. в Вернигероде. Как и многие другие великие химики прошлого времени, он начал свою деятельность фармацевтом. Клапрот был аптекарем в Берлине, где он читал лекции по химии. После основания в 1810 г. Берлинского университета он получил здесь первую кафедру химии. Он был также членом Академии наук. Умер он в Берлине в 1817 г.

Для минералогической химии Клапрот имел почти такое же значение, какое имел Лавуазье для общей химии. С Клапротом в этой области, в которой он работал с неутомимым рвением с 1785 г., начинается эра количественного исследования. Когда антифлогистонная теория стала известна в Германии, Клапрот один из первых подверг ее основательной проверке; с тех пор (именно с 1792 г.) он не переставал бороться против господствовавшей тогда в Германии теории Штала. Одним из первых исследователей, которых Клапрот убедил в правильности учения Лавуазье, был Александр фон-Гумбольдт.

По точности и строгости методов работы среди руководящих исследователей начала XIX века с немцем Клапротом может сравниться только швед Берцелиус. Если последний благодаря тысячам тщательных анализов сумел заложить прочные основы для общей химии, то Клапрот с равным успехом работал в более узкой и ограниченной области минералогической химии. В процессе этих исследований ему удалось обогатить сокровищницу общей химии рядом новых важных фактов. Так, ему посчастливилось при исследовании редких минералов открыть четыре новых элемента. „Если принять во внимание, как редко выпадает на долю химика счастье открыть один единственный элемент, то легко понять, насколько должно было импонировать современникам Клапрота открытие им четырех элементов“¹.

В 1789 г. Клапрот открыл в смоляной обманке, столь прославившейся в новейшее время в связи с радиологией, новый металл. В честь открытой как раз в это время планеты Урана он назвал его ураном. В действительности Клапрот в своем исследовании имел дело только с соединением этого металла с кислородом; в чистом виде уран был получен только в 1842 г.² В том же 1789 г. Клапрот открыл в минерале цирконе цирконовую землю. Выделение элемента циркония удалось Берцелиусу при помощи метода, основывающегося на совершенно исключительной способности калия разлагать соединения других металлов. Несколько позже (1795 г.) Клапрот открыл в минерале рутиле новую металлическую известь. Лежащий в основе этой извести металл он на-

¹ A. W. Hoffmann, Ein Jahrhundert chimischer Forschung unter dem Schirme der Hohenzollern (Rektoratsrede, Berlin 1881).

² Pálígot, „Annales chim.-phys.“, V, 1842 und XII, 1844.

звал титаном. Выделение из соединения титана самого элемента удалось опять-таки лишь Берцелиусу благодаря вышеупомянутому методу. Наконец, во встречающемся в Швеции минерале церите оба исследователя нашли одновременно (1795 г.) цериеву землю, в которой опять-таки Берцелиус первый распознал окись некоторого нового металла.

Заслуживают, далее, упоминания опыты Клапрота, при которых он накаливал ряд минералов до наивысшей, находившейся в его распоряжении температуры, именно до температуры фарфоровой печи. При этом обнаружилось, что до тех пор считали некоторые вещества (например известь и магнезию) плавкими лишь потому, что они соединяются с массой плавильного тигля в вещество, плавящееся при температуре белого каления.

Клапрот произвел тщательнейшие анализы более 200 минералов. Относящиеся к этому вопросу и рассеянные в разных журналах работы были собраны им в обширном труде, который он выпустил (1795—1810 гг.) под названием: „*Beiträge zur chemischen Kenntniss der Mineralkörper*“ („К химическому познанию минералов“). Этой работой Клапрот заложил основы химической классификации минералов.

Наука обязана Клапроту еще одним важным методологическим усовершенствованием. До него аналитические химики имели обыкновение сообщать в качестве итога своих исследований исправленные значения различных констант, а не непосредственно полученные ими в опыте результаты. Клапрот, наоборот, сообщал результаты своих анализов без всяких попыток округления их. Благодаря этому можно было сравнивать вес составных частей исследуемого вещества с совокупным весом его. Всякий специалист мог теперь видеть избытки или недостатки в весе, благодаря чему стала возможной плодотворная критика применявшегося исследователем метода. Эта критика порождала новые исследования, которые вели к улучшению аналитических приемов, к исправлению ошибок, ко все новым и новым открытиям, словом, к углублению и к умножению сокровищницы знания. Здесь, как и в других аналогичных случаях, усовершенствование метода имело самое благоприятное влияние на развитие науки.

Как химическое строение минералов, так и физические их свойства, в особенности оптические, оказались в закономерной связи с их формой. Когда Гюйгенс писал свой трактат о свете, двойное преломление было известно только у исландского шпата и у кварца. Впоследствии его открыли и у других веществ, получая двойное изображение маленьких предметов, например кончика иглы. Если разница в направлении обоих лучей была очень незначительна, то она либо совершенно ускользала от внимания наблюдателя, либо результат оставался сомнительным. Положение вещей, однако, сразу изменилось, когда Араго открыл хроматическую поляризацию¹. С этого времени достаточно было исследовать

¹ A r a g o, Mémoires de l'Institut de France, 1811.

тонкую пластинку в поляризованном свете, чтобы получить представление о природе данного минерала.

Теперь отношение между формой кристалла и оптическими свойствами его не могло больше оставаться скрытым. Оказалось, что все правильные кристаллы обладают простым преломлением света, но при помощи сжатия в них тоже можно вызвать двойное лучепреломление. Такое насильственное изменение может произвести только то, что частички в одном направлении приближаются друг к другу, а в другом, перпендикулярном к первому, удаляются одна от другой; отсюда сделали вывод, что именно распределение молекул является причиной оптических свойств двоякопреломляющих кристаллов.



УСТАНОВЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В БОТАНИКЕ

Как для физики и химии, так и для описательного естествознания к концу XVIII в. наступила новая эра. В течение первых десятилетий после опубликования системы Линнея все силы ученых были до такой степени поглощены разработкой и усовершенствованием этой системы, что почти была забыта истинная цель исследования природы — познание закономерной связи явлений. Наконец, стало созревать сознание, что искусственная система есть лишь простой каталог и что описательное естествознание еще бесконечно далеко от достижения подлинной цели науки. Это убеждение мы встречаем сперва лишь у немногих выдающихся ученых. Как преобразование химии, так и новое направление описательных наук получило начало во Франции, стране, в которой одновременно с величайшим развитием национальной мощи обнаружилось и самое оживленное движение в науке.

Требование системы, которая бы выражала действительное родство между видами, высказал еще Линней, установивший уже ряд групп на основе естественного родства. Но группы эти обнимали не весь растительный мир; кроме того, Линней только перечислил их и дал им наименования. Словом, это была лишь попытка, должествовавшая побудить других работать в этом же направлении.

Система Линнея встретила во Франции меньше сочувствия, чем в других странах. Во Франции были заложены основы естественной системы растений Адансоном (Adanson) и обоими Жюссье.

Адансон¹ пытался путем индукции, опирающейся на чрезвычайно обширный материал, раскрыть загадку естественного родства растений. Он расположил сперва растения по свойствам некоторого определенного органа и получил таким образом искусственную систему. Затем он сгруппировал растения вторично, положив в основу классификации другой орган. Повторяя неоднократно эту операцию, он получал каждый раз новую искусственную систему². Он руководился при этом той мыслью, что естественное родство должно получиться из сравнения этих искусственных систем. Действительно,

¹ Михаил Адансон родился в 1727 г. в Э (Aix). Он был членом Академии наук и умер в 1806 г. в Париже.

² Он составил не менее 65 таких искусственных систем.

чем в большем количестве систем были близки между собой виды, тем больше их естественное родство. У Адансона мы встречаемся также с мыслью, что виды отнюдь не неизменны.

ОСНОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ГЕРТНЕРОМ И ЖЮССЬЕ

Бернар де-Жюссье (Jussieu) (1699—1777), профессор при Королевском саде в Трианоне, установил растительные группы, близко придерживаясь системы Линнея. Жюссье распространил группировку по естественному родству (которой он придерживался и при расположении растений в Королевском саду) на весь растительный мир, начиная с тайнобрачных, за которыми следовали однодольные, двудольные и, наконец, хвойные. В его системе было 14 классов. Первый класс содержал всех тайнобрачных, которых он назвал бессемядольными. Однодольные были разделены на три класса в зависимости от положения тычинок по отношению к завязи. Двудольные распались в зависимости от свойств венчика на крупные группы безлепестных, сростнолепестных и раздельнолепестных. В зависимости от взаимоотношений между венчиком, тычинками и завязью они в свою очередь делились на классы. Система Бернара де-Жюссье опиралась на комбинации естественной классификации с искусственной. Его племянник, Антуан-Лоран де-Жюссье, развил эту систему дальше.

Антуан-Лоран де-Жюссье (1748—1838) был профессором при Ботаническом саде в Париже. Его заслуга заключается в том, что он не только увеличил количество естественных групп (семейств), но и правильно понял и ясно выразил общие признаки этих групп, их семейные черты.

Исследования А.-Л. де-Жюссье нашли ценную поддержку в работах немецкого ботаника Гертнера, который, подобно Кельройтеру и Цпренгелю, не был по достоинству оценен в собственном отечестве.

Иосиф Гертнер¹ (Gärtner), стремясь обосновать естественную систему, создал первую научную морфологию плодов и семян. Число исследованных им с этой стороны растительных родов превосходит тысячу. Одним из важнейших результатов его работы является установление того принципа, что споры тайнобрачных и семена цветковых растений представляют совершенно различные вещи. Он показал, что настоящие семена всегда содержат в себе зародыш (побег). Он тщательнейшим образом исследовал положение этого зародыша, направление его корней и число и вид семядолей, чтобы, основываясь на этом, построить учение о признаках семейств. При

¹ Родился в 1732 г. в Вюртемберге. Гертнер был преподавателем в Тюбингене, а затем в Петербурге. В 1770 г. он вернулся обратно в Вюртемберг, где целиком отдался делу составления своего главного научного труда. Последний появился в 1788—1791 г. под заглавием: „De fructibus et seminibus plantarum“. Гертнер умер в 1791 г.

этом он никогда не обнаруживал одностороннего предпочтения найденных им таким образом признаков, а всегда рассматривал их как важные, но отнюдь не единственные средства для естественной классификации растений. Следует упомянуть еще, что в этом исследовании, ведшемся вообще в духе современного естествознания, Гертнер всегда рассматривал уже взрослые образования, не интересуясь процессом развития изучавшихся им органов¹. На этот путь, на котором только и возможно было добиться полного понимания отношений родства между организмами, вступили только позднейшие исследователи.

Капитальное произведение Гертнера с его многочисленными, тщательно выполненными гравюрами, произведение, которому он посвятил труд всей своей жизни, встретило восторженное признание во Франции. А.-Л. де-Жюссье, который при своих исследованиях родовых и семейных признаков очень часто ссылался на книгу Гертнера „О плодах и семенах растений“, принял ее с настоящим энтузиазмом.

Система А.-Л. де-Жюссье начинается с бессемядольных (тайнобрачных), куда входят группы грибов, водорослей, мхов и папоротников. Однодольные подразделяются на три ряда в зависимости от положения тычинок по отношению к завязи. Они обнимают 16 семейств, из коих мы приведем в качестве наиболее известных: злаки, пальмы, лилейные, нарциссовые и орхидные. Двудольные Жюссье подразделяет сначала по строению венчиков на несколько главных групп безлепестных, сростнолепестных и раздельнолепестных, которые в свою очередь распадаются на подотделы в зависимости от положения завязи по отношению к венчику или тычинкам.

Так, один из этих подотделов образуется губоцветными (*Labiata*) вместе с 14 другими семействами, как например пасленовые, вьюнки, горечавки и т. д. Общий признак этих 15 семейств заключается в том, что венчик прикреплен к оси цветка ниже завязи. В то же время венчик у этих 15 семейств сростнолепестный. Поэтому эти 15 семейств вместе с другими группами семейств отнесены к отделу сростнолепестных. Того же порядка группами, что и сростнолепестные, являются раздельнолепестные и безлепестные. В числе раздельнолепестных в системе Жюссье имеются зонтичные (*Umbelliferae*), лютиковые (*Ranunculaceae*), крестоцветные (*Cruciferae*), розоцветные (*Rosaceae*), мотыльковые (*Papilionaceae*) и другие крайне важные естественные группы. В общей сложности в этой системе перечислено 100 семейств, из которых на долю раздельнолепестных приходится почти половина. Последнее семейство образуют хвойные.

Хотя эта опубликованная в 1789 г. система подверглась позже переработке и усовершенствованию, но по существу она легла в основу всех позднейших классификаций, среди которых на первом месте стоит система Декандолля (*Decandolle*).

¹ Гертнер только случайно обращался к рассмотрению ранних форм органов.

ДАЛЬНЕЙШАЯ РАЗРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЕКАНДОЛЛЕМ

Огюстен-Пирам Декандолль родился в 1778 г. в Женеве. Его предки были родом из Южной Франции. В Женеве около 1800 г. работал ряд выдающихся естествоиспытателей, занимавшихся проблемами физики и физиологии. Среди них следует назвать прежде всего де-Соссюра и Сенебье (Senebier). Под влиянием этих ученых Декандолль заинтересовался вопросами физиологии растений. 1798—1808 гг. Декандолль провел в Париже, бывшем тогда средоточием точного естествознания. Ботаника не могла не испытать на себе влияния духа и методов точного знания. Декандоллю главным образом наука обязана тем, что это влияние не ограничилось одной физиологией, но распространилось и на морфологию. Эта последняя в свою очередь оказала влияние на систематику, проникнувшую духом подлинного естествознания, которое на пороге XIX в. восторжествовало во Франции во многих областях науки, сметая последние остатки схоластики. Покинув Париж, Декандолль предпринял ботанические путешествия по Франции и соседним странам. Последние 25 лет своей жизни он провел снова в Женеве, где и умер в 1841 г.

В этой главе мы остановимся на заслугах Декандолля в деле разработки основных понятий морфологии и усовершенствования систематики; впоследствии мы займемся результатами его исследований и в области физиологии растений.

В 1813 г. Декандолль выпустил свои „Теоретические начатки ботаники“, в которых заложены основы современной морфологии¹. Более подробное изложение своих взглядов он дал в 1827 г. в „Органографии“², где, кроме того, рассмотрена еще анатомия растений. В основу нижеследующего изложения мы положим это позднейшее произведение. Декандолль увеличил число семейств от 100 (Жюссье) до 161 и в сотрудничестве с рядом специалистов дал подробное описание всех известных до того видов растений, выполнив таким образом самое грандиозное предприятие по систематике растений. В этом коллективном труде, озаглавленном „Prodromus systematis naturalis“, сам Декандолль обработал около 100 семейств. Издание этого труда растянулось на десятки лет (1824—1873). Работу эту продолжал с 8-го тома сын Декандолля, Альфонс, которому он завещал свой гербарий и свою библиотеку. Значение этого колоссального труда по систематике растений один из наиболее выдающихся историков новейшей ботаники характеризует в следующих выражениях: „Невозможно в немногих словах дать

¹ Эта классическая работа была переведена на немецкий язык д-ром Ремером (Römer) под следующим названием: „Theoretische Anfangsgründe der Botanik“ (Цюрих 1815). Полное заглавие оригинала гласит: „Théorie élémentaire de la botanique ou exposition des principes de la classification naturelle et de l'art d'écrire et d'étudier les végétaux“, Paris 1813.

² Organographie végétale, Paris 1827, 2 тома. В 1828 г. К. фон-Мейснер (Meisner) выпустил немецкий перевод этой работы под названием: „Organographie der Gewächse oder kritische Beschreibung der Pflanzenorgane. Eine Fortsetzung und Entwicklung der Anfangsgründe der Botanik und Einleitung zur Pflanzenphysiologie und der Beschreibung der Familien“.

понять значение подобных работ. Ведь они-то образуют эмпирическую основу всей ботаники, и чем лучше и осторожнее заложена эта основа, тем прочнее все здание науки¹.

Однако Декандоллю, как и Жюссье, не удалось дать вполне строгое и точное определение главных групп растительного царства. Это стало возможным лишь тогда, когда, после оживления интереса к давно заброшенному микроскопическому исследованию, обратились к изучению тайнобрачных. Только теперь стало ясно, что предложенное еще Реем противопоставление этой группы совокупности всех прочих растений вполне правомерно и что крупные отделы, на которые распадается тайнобрачные, эквивалентны по объему однодольным и двудольным. Ошибка Декандолля заключалась в том, что он строил свою классификацию на наличии или отсутствии сосудистых пучков. Благодаря этому в его системе однодольные соединены с сосудистыми тайнобрачными. Общий признак обеих этих групп он усмотрел в том обстоятельстве, что, в отличие от двудольных, сосудистые пучки не расположены у них по окружности ствола. В силу этого двудольные называются у него экзогенными, две же другие группы — эндогенными.

Наиболее обширная из всех групп растительного царства — двудольные — в свою очередь в зависимости от характера околоцветника (простого или двойного) распадается на две подгруппы. Хотя выбранный Декандоллем признак был тоже искусственный, но все же внутри этих подгрупп были возможны объединения семейств (рядов), которые, казалось, обладали естественным родством.

Но понятиям „естественная система“ и „естественное родство“ совершенно недоставало реального смысла, который могло внести в них лишь современное учение о происхождении организмов. К этому присоединялось еще то обстоятельство, что Декандолль представлял себе взаимоотношения между созданными им группами при помощи образа, совершенно не годившегося для иллюстрации мысли о родстве, обусловленном общим происхождением. В то время как до него систему представляли себе в образе прямой линии, Декандолль сравнил ее с географической картой, в которой материи соответствуют наиболее крупным группам, а государства, провинции и т. д. — более мелким группам. Система Декандолля имеет следующий вид:

I. СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ

1. Экзогенные растения (двудольные)

2. Эндогенные растения

A. Со сложным околоцветником

- α) Венчик раздельнолепестный и находится над завязью.
- β) Венчик раздельнолепестный и находится вокруг завязи.
- γ) Венчик сростнолепестный.

B. С простым околоцветником

- α) Однодольные.
- β) Сосудистые тайнобрачные.

II. КЛЕТЧНЫЕ РАСТЕНИЯ

- α) Листоносые (мхи).
- β) Беслистные (слоевцовые).

¹ Сакс (Sachs) в своей „Истории ботаники“.

Учение о существовании пола у растений возникло к концу XVII в. и после большого сопротивления завоевало себе всеобщее признание в первой половине XVIII в. Уже в этот период появились попытки применить половую теорию также к сосудистым тайнобрачным, мхам и слоевковым. Среди пластинок пластинчатых грибов¹ искали тычинки, толковали известные части мхов как органы размножения и находили определенные признаки в пользу существования пола у водорослей². Однако вопрос о размножении тайнобрачных был выяснен только в XIX в. благодаря усовершенствованию микроскопа и шедшему параллельно с этим улучшению микроскопической техники.

Полное понимание естественного родства, оставшегося у Жюссье и Декандолля только абстрактным понятием, плохо вязавшимся с догматом о постоянстве видов, стало возможно лишь тогда, когда начавшееся в 40-х годах изучение истории развития вместе с теорией трансформизма придали слову „родство“ новый смысл и когда ботаническую систему стали рассматривать как конечный результат непрерывной цепи процессов развития, исходящих из одного общего источника.

УЧЕНИЕ О МЕТАМОРФОЗЕ РАСТЕНИЙ

В ботанике пришли к ценным результатам также благодаря сравнительному изучению органов растений. В то время как Жюссье и Декандолль построили на основе сравнительного изучения совокупности растительных видов естественную систему, Вольф (Wolff) и Гете изучили отношения между отдельными органами растений и формулировали результаты своих исследований в учении о метаморфозе. Основную идею этого учения Вольф выразил в следующих словах: „Во всем растении, части которого на первый взгляд так поражают нас своим чрезвычайным разнообразием, я по зрелом размышлении вижу только листья и стебель“. Корень Вольф рассматривал как часть стебля, как своего рода продолжение его, а семяздоли толковались им как листообразные формы, именно как первые и самые низкие листья. Эту же идею³ Гете подробно развил в своем „Опыте о метаморфозе растений“⁴.

Всякий, тщательно наблюдающий за ростом растений, говорит Гете, легко заметит, что известные внешние части их нередко испытывают превращения и принимают то целиком, то частично вид ближайших к ним частей. Так, например, обыкновенный цветок превращается в махровый, если вместо тычинок разовьются лепестки. Семяздоли можно рассматривать только как первые, по большей части еще очень простые листья первого узла. Развитие листа идет вверх от узла к узлу. Легко заметить, что части чашечки

¹ Так, например, Гледич, „Mém. de l'Académie de Berlin“, 1748, стр. 60.

² Sprengel, Geschichte der Botanik, II, 249.

³ A. Kirchoff, Die Idee der Pflanzenmetamorphose bei Wolff und Goethe, 1867.

⁴ D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4-е изд., отдел 43.

это те же самые органы, которые раньше имели вид стеблевых листьев. Нельзя также не заметить родства между венчиком и стеблевыми листьями.

Даже в плоде, заключает свое рассуждение Гете, нельзя не заметить несмотря на все многообразие его форм превращенного листа. „Так, например, стручок представляет собой простой лист, сросшийся по краям. Многогнездый плод произошел из нескольких листьев, расположенных около одного центра и сросшихся своими краями“.

Эти идеи еще и в наше время являются исходным пунктом морфологического анализа, так что Гете, естественнонаучные работы которого не лишены, разумеется, многих недостатков¹ и вообще могут быть понятны лишь в связи с своеобразным обликом их творца, имеет непреходящую заслугу и в этой области. Вольф с Гете первоначально употребляли понятие „метаморфозы“ в фигуральном смысле, подобно тому как это делали современные им систематики с понятием „родство“². Но нельзя отрицать того, что впоследствии Гете своим интуитивным мышлением предугадал и истинный трансформизм, т. е. учение о действительном, происшедшем во времени возникновении одних форм из других. Так, в его „Истории моих ботанических занятий“ мы читаем: „Разнообразие форм у растений натолкнуло меня на мысль, что окружающие нас растительные формы представляют не нечто первичное и неизменное, но что, наоборот, они наделены подвижностью и гибкостью, чтобы приспособляться к бесчисленным воздействующим на них на земле условиям и в соответствии с этим изменяться“.

¹ Несколько лет тому назад Э. фон Липпман показал (Abhandlungen und Vorträge, 1906), что занимающее такое обширное место в работах Гете, но в целом неудачное учение о цветах (ему одному посвящены пять томов большого веймарского издания сочинений Гете) содержит в себе ряд ценных мыслей. Главный недостаток физических исследований Гете заключается в том, что он не только был плохо знаком с экспериментальными и математическими методами физики, но и очень низко оценивал их. Гете нельзя было убедить в непригодности его теории; наоборот, он считал учение о цветах своим наиболее ценным достижением, по сравнению с которым „ровно ничего не стоит то, что он сделал, как поэт“.

² Недавно А. Гансен (Hansen) выяснил значение и связь учения Гете о метаморфозе с работами Вольфа. См. A. H a n s e n, Goethes Metamorphose der Pflanzen, Goethe-Jahrbuch, т. XXVII, 1906, стр. 207—225 и вышедшее под тем же названием более обширное произведение Гансена.



ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ НОВЕЙШИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теперь, в связи с проблемами систематики и морфологии растений, мы обратимся к вопросам физиологии растительного царства. Среди исследователей, пытавшихся доказать зависимость растительного организма от физических сил, следует назвать в особенности Найта (Knight). С его именем связано открытие явлений, известных под названием геотропизма, гидротропизма и гелиотропизма. Томас-Эндрю Найт родился в 1759 г. в одном маленьком местечке западной Англии. Окончив Оксфорд, он приобрел маленькое поместье и посвятил себя занятиям садоводством и сельским хозяйством. Поддерживая сношения с Бенксом (Banks), президентом Королевского общества, и другими естествоиспытателями, Найт заметил, что благодаря своему непрерывному и интимному общению с природой он сумел наблюдать многое такое, что ускользнуло до сих пор от внимания профессиональных исследователей. Бенкс побудил Найта опубликовать свои исследования в Записках Королевского общества¹. Найт умер в 1838 г.

УЧЕНИЕ О ГЕОТРОПИЗМЕ

Основная для учения о геотропизме работа Найта „О направлении молодых корней и молодого стебля при прорастании“ появилась в 1806 г. Уже до Найта в качестве причины того явления, что корень растет по направлению к центру земли, а стебель, наоборот, в противоположном направлении, выдвигали силу тяжести. Экспериментальное доказательство этого предположения, сказал себе Найт, можно лучше всего дать в том случае, если исследовать растущее растение, элиминировав влияние силы тяжести. Так как сила тяжести может вызвать действие лишь в том случае, когда росток остается в покое, то Найт решил устранить ее влияние путем непрерывного изменения положения прорастающего семени. Свой решающий опыт Найт производил следующим образом. На

¹ Sechs pflanzenphysiologische Abhandlungen von Thomas Andrew Knight (1803—1812); übersetzt und herausgegeben von H. Ambronn, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 62, Leipzig, W. Engelmann, 1895.

окружности вертикального колеса он укрепил небольшие сосуды, открытые в сторону оси колеса и вовне. Сосуды эти были заполнены влажным мхом. В мох каждого сосуда Найт посадил семена обыкновенной фасоли. При помощи небольшого механизма колесо приводилось во вращение, делая 150 оборотов в минуту вокруг своей оси. Благодаря этому положение семян по отношению к центру земли изменялось так часто, что Найт мог считать устраненным влияние силы тяжести. Через несколько дней, когда семена стали прорастать, можно было наблюдать, что как бы ни было направление корней в зависимости от соответственного положения семени, их острые концы направлялись от окружности колеса по радиальному направлению вовне, между тем как стебли росли в противоположном направлении, пока, наконец, их острия не соединились в центре колеса. Если стебли продолжали расти дальше этого пункта, то верхушки их вскоре поворачивались, чтобы снова соединиться в центре колеса. Таким образом центробежная сила определила направление роста точно так, как это делала сила тяжести в случае покоящегося семени.

Впоследствии было сверх того доказано¹, что корни искривляются вниз не под влиянием своего собственного веса, так как они при своем искривлении способны привести в движение тяжесть, бóльшую их собственного веса.

При втором опыте Найт комбинировал действие центробежной силы с действием силы тяжести. На этот раз он поместил семена по вышеуказанному способу на окружности горизонтального колеса, которое затем он привел в движение. При 80 оборотах в минуту корни росли под углом в 45° книзу, а стебли под тем же углом кверху. При этом острые концы корней удалялись от оси колеса, у стеблей же, наоборот, они приближались к ней. Когда Найт увеличил число оборотов до 250 в минуту, то корни и стебли уклонились еще на больший угол (около 80°) от вертикального направления, которое они заняли бы в состоянии покоя.

Этими опытами было доказано, что части растения обнаруживают явления, называемые нами положительным и отрицательным геотропизмом, не под влиянием каких-то внутренних свойств растительного организма, а под влиянием определенной внешней причины.

В качестве дополнительной причины, влияющей на направление и рост корней, Найт признал влажность. Он показал, что она вызывает те реакции растения, которые в настоящее время называют гидротропизмом.

РОСТ И ВЛАЖНОСТЬ

Найт исходил² из следующего наблюдения: если взять дерево, нуждающееся в большом количестве влаги, и посадить его в почву, где достаточное количество воды находится только на некотором

¹ Джонсоном (Johnson) в 1828 г.

² Мемуар от 1811 г.

расстояние от дерева, то корни последнего начинают поворачиваться в сторону воды. Если, наоборот, дерево другого вида нуждается в сухой почве, то его корень удаляется от воды. Явление носит такой характер, точно растения делают своего рода планомерные усилия, чтобы добиться благоприятных для себя в смысле влажности условий. В эпоху, когда учение о жизненной силе было еще в полном расцвете, и исследователи склонны были объяснять подобные явления мистическими склонностями и желаниями, требовалось известное мужество, чтобы пытаться объяснить эти явления чисто механическими причинами. Между тем именно в этом духе работал Найт во всех избранных им областях исследования. Благодаря этому он стал истинным продолжателем дела своего великого земляка Гельса¹, который за полвека до него сделал первую попытку ввести в физиологию экспериментальный механический метод объяснения. „Я осмеливаюсь, — говорил Найт, — сделать из моих опытов тот вывод, что корни испытывают только непосредственное воздействие окружающих их тел, а не действуют под влиянием каких-то желаний, подобных желаниям животных“.

Заслуживает, далее, упоминания опыт, при котором корни соприкасались сверху с влажной землей, а внизу с сухой. В этом опыте Найт посадил бобы в горшки. Спустя некоторое время он перевернул горшки и через дно сообщил им такое количество воды, что только соседняя с дном (т. е. находившаяся теперь над прораставшим семенем) земля была влажной. И вот оказалось, что через несколько дней растения выпустили многочисленные корни вверх в более влажную землю, точно они руководились, подобно животным, инстинктом. В этом опыте влияние силы тяжести было компенсировано сухостью на нижней стороне таким точно образом, каким оно было компенсировано при опыте с горизонтально вращающимся колесом центробежной силой. Очевидно, в обоих случаях имели дело не с инстинктообразными побуждениями, а с чисто механическими причинами. Найт подробно доказывает, что первоначально органы развиваются по всем направлениям. Но успешно расти могут лишь те из них, которые находят благоприятные условия, а это создает впечатление, будто корни одного растения разыскивают находящуюся поблизости воду, а корни другого, наоборот, избегают ее.

МЕХАНИЗМ ДВИЖЕНИЯ ВЬЮЩИХСЯ РАСТЕНИЙ

Довольно значительное число опытов Найт посвятил движениям вьющихся растений². Опыты эти показали, что растения вьются под влиянием механической необходимости, а не каких-нибудь сознательных стремлений. Свои опыты Найт производил главным образом на горохе, плюще, обыкновенном и диком винограде. Описав сперва точным образом движения усиков растений,

¹ См. стр. 74 настоящего тома.

² Мемуар от 1812 г.

Он затем сводит эти движения к двум причинам. Это, во-первых, особенности внутреннего строения растений—особенности, которые можно было бы также назвать определенной раздражимостью их, а, во-вторых, действие внешних факторов, среди которых на первое место надо поставить свет и механическое давление. Согласно Найту эти раздражения вызывают изменения в распределении сока, а в связи с этим влияют на процесс роста. Давление, говорит он, оказываемое на одну сторону какого-нибудь усика, вытесняет, по всем вероятностям, сок, под влиянием чего сдавленная сторона сокращается. Возникшее благодаря этому движение усиливается еще тем, что сок, направляясь к несдавленным местам, заставляет их расти быстрее. Под влиянием этого усик начинает обвивать тонкую деревянную или металлическую палочку. Несмотря на всю недостаточность этого объяснения оно все же заслуживает признания как первая попытка сведения наблюдаемых у усиков растений явлений к механическим причинам.

РОСТ И СВЕТ

Важное значение имели также опыты Найта над открытым им отрицательным гелиотропизмом усиков дикого винограда. В своих опытах Найт выставлял это растение на яркий солнечный свет. Он брал затем кусок черной бумаги и помещал его на одной стороне вблизи растения так, что усики как бы притягивались черной бумагой. Если бумагу помещали на другой стороне, то усики вскоре начинали следовать туда за ней. Если вместо бумаги брали стеклянную пластинку, отражавшую солнечный свет так, что он непрерывно падал на усики, то они отворачивались от стекла, и начинало казаться, будто стекло отталкивает их от себя. Для прикрепляющихся корней плюща Найт доказал, что они не только избегают свет, но и образуются лишь на теневой стороне ствола.

И эти явления Найт пытался объяснить механическими причинами, принимая в случае отрицательного гелиотропизма расширение, в случае же положительного гелиотропизма—сокращение освещенного вещества коры. Здесь, как и в других случаях, недостаточность основанной Найтом фитодинамики заключается в том, что она не учитывает в достаточной мере внутренней организации растений, мало известной еще в то время. Впрочем, этот пробел в наших знаниях не заполнен еще и в настоящее время, так что современная наука, несмотря на понимание недостаточности попыток объяснения Найта, не может пока заменить их чем-нибудь лучшим.

УСПЕХИ ХИМИИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ФИЗИОЛОГИЮ ПИТАНИЯ

Стефан Гельс, исходя из мысли, что путем изучения происходящих в растениях процессов легче всего можно будет понять процесс жизни, сделал первые шаги для основания физиологии питания растений. Но вполне плодотворная работа в этой области стала возможной лишь тогда, когда была понята роль кислорода

21*

и когда были заложены научные основы химии. Еще до открытия кислорода Пристли заметил, что воздух, „испорченный“ дыханием или горением свечи, делается снова „здоровым“, если в нем растут растения. Иначе говоря: воздух, в котором погасла свеча, настолько улучшался благодаря растениям, что свеча начинала в нем снова гореть. В связи с этим фактом Пристли нашел, что находящийся в пузырьках морской водоросли воздух даже „лучше“, чем атмосферный воздух. Признаком доброкачественности воздуха служило для него происходившее в его эвдиометре сокращение объема газа¹.

Но явления ассимиляции и дыхания растений были открыты по-настоящему только голландцем Ингенгусом (Ingenhousz) (1730—1799). В 1769 г. он опубликовал подробную работу по этому вопросу². В этой работе он доказывал, что большинство растений на солнечном свете быстро улучшает „испорченный воздух“ и что, наоборот, ночью они выделяют углекислый газ, т. е. делают воздух „нечистым“, как выражались еще тогда в эпоху господства флогистонной теории. Но процесс улучшения воздуха согласно Ингенгусу имеет своим источником только зеленые стебли и листья, особенно нижнюю сторону последних. Процесс этот заключается в выделении кислорода, количество которого превосходит во много сотен раз количество выделяемого ночью углекислого газа, который Ингенгус называл еще „вредным воздухом“. В связи с этим было установлено еще³, что выделяемый кислород образуется за счет разложения углекислого газа, попадающего в атмосферный воздух благодаря процессам горения, дыхания и брожения⁴.

При помощи других опытов было доказано, что растения могут развиваться исключительно за счет газообразных, жидких или растворенных в жидкостях веществ. Растениям давали, например, раствор между мхом, хлопчатой бумагой или исключительно в проточной воде, содержащей достаточное количество растворенных минеральных веществ. Таким образом уже к концу XVIII в. была установлена качественная сторона физиологии питания.

После того как для химии настала эра количественного исследования, оставалось применить новый метод к процессам, известным только с их качественной стороны. Это было делом Соссюра. Подобно тому, как Найт основал фитодинамику, так Соссюр основал учение о питании растений, для которого Ингенгус и Сенебье дали лишь некоторые предварительные работы, относящиеся к газообмену.

¹ См. стр. 254 настоящего тома.

² Ingenhousz, *Versuche mit Pflanzen*; перев. на нем. язык Шерером (Scherer), 1787.

³ Сенебье.

⁴ Заслуги Ингенгуса, как врача и естествоиспытателя, были выяснены И. Виснером (I. Wiesner) в работе: *Jan. Ingenhousz, Sein Leben und sein Wirken*, Wien 1905. Получив степень доктора медицины, Ингенгус изучал затем в Лейдене физику и химию. Благодаря этому он был хорошо подготовлен для поставленной им себе задачи выяснить газовый обмен и химические процессы в растениях.

Виснер сообщает еще, что Ингенгус ввел в микроскопическую технику покрывное стеклышко; он же, как показал Ф. Липпман, первый сжег часовую пружину в кислороде. Ингенгус далее вмеснил стеклянный шар или цилиндр прежних электрических машин с трением стеклянным диском.

Николай-Теодор де-Соссюр был сыном исследователя Альф Ораса-Бенедикта де-Соссюра, прославившегося тем, что он первый поднялся на Монблан. Орас де-Соссюр был профессором в Женеве, где Теодор родился в 1767 г. Первоначально Теодор де-Соссюр принимал участие в работах своего отца. В 1797 г. он обратился к исследованиям по физиологии растений. Он умер в Женеве в 1845 г.

Соссюр поставил себе задачу изучить точным образом роль воды, воздуха и перегноя в питании растений и исследовать изменения, производимые растениями в атмосфере. В особенности интересовал его вопрос о значении углекислого газа для жизни растений.

Программу своих исследований он сформулировал в следующих словах: „Я буду изучать вопросы, которые могут быть решены экспериментом, отказываясь от голых догадок, ибо в естествознании только факты приводят к истине“. Программе этой Соссюр остался верен. В его мастерских исследованиях вопросы всегда ставятся определенным образом и получают столь же определенные ответы. Если предшественники Соссюра исследовали процессы питания в самых общих чертах и исключительно с качественной стороны, то он первый путем количественных определений установил „баланс между тем, что растение получает, и тем, что оно дает и, следовательно, само добывает“¹. При помощи этого метода он установил, что в создании вещества растения принимают участие наряду с углеродом воздуха элементы воды и некоторые составные части почвы.

Ход исследования Соссюра был таков: прежде всего он изготовил из углекислого газа и обыкновенного воздуха искусственную атмосферу, содержащую 7,5% углекислого газа. Смесь эта была затем заключена в сосуд, в который были помещены семь малых барвинков (*Vinca minor* L.) вышиной каждый в 20 см. Корни этих растений были погружены в отдельный сосуд, содержащий 15 см³ воды. Прибор этот шесть дней подряд выставлялся на солнечный свет от 5 до 11 час. утра. На седьмой день Соссюр вынул растение. Сделав всякого рода поправки, он установил, что объем искусственной атмосферы не изменился. Позднейшие опыты также показали, что совокупный объем атмосферы, в которой происходит процесс ассимиляции растений, остается почти неизменным, так как объем выделяемого кислорода приблизительно равен объему разлагаемого углекислого газа, содержание же азота вообще остается одинаковым.

В другом, сделанном для проверки опыте Соссюр установил, что семь малых барвинков весили в сухом виде до разложения углекислого газа 1,707 г и что при обугливания в закрытом сосуде они дали 528 г угля. Растения же, разложившие углекислый газ, дали после того, как они были высушены и подверглись тому же процессу обугливания, 649 мг угля. Таким образом разложение углекислого газа дало избыток в 120 мг углерода. Соссюр обуглил затем малые барвинки, выросшие в воздухе, лишенном углекислоты,

¹ Théodore de Saussure, Recherches chimiques sur la végétation, Paris, 1804. Сделанный А. Вилером перевод на немецкий язык этой работы вышел в виде 15 и 16-го томов оствальдовской серии классиков точного знания.

и нашел, что количество угля во время пребывания в сосуде скорее уменьшилось, чем увеличилось.

Соссюр установил далее, что растение не только ассимилирует углерод, но одновременно усваивает и элементы воды, теряющей при этом жидкое состояние и увеличивающей количество сухого вещества. Прежде всего он убедился в том, что 100 весовых частей перечной мяты содержат 40,29 части сухого вещества, от которого после обугливания осталось 10,56 части угля. 100 весовых частей перечной мяты, росшей $2\frac{1}{2}$ месяца на открытом воздухе, весили затем 216 частей. Этот прирост в весе сам по себе ничего не доказывал, так как его можно было приписать увеличению количества воды в растении. По высушении вес растения составлял 62 части. Таким образом сухое вещество растения увеличилось благодаря воздуху и воде на 21,71 части. При обугливании эти 62 части дали 15,78 части угля или на 4,82 части больше, чем прежде. Остальная часть прироста приходилась на счет химически связанной воды.

Исключительную важность имели опыты Соссюра над отношением растений к различным, лишенным кислорода средам. Опытами этими было установлено, что растения неспособны усваивать в виде элементов азот и водород, а также не усваивают окись углерода.

Опыты Соссюра дали отрицательный ответ на вопрос о том, достаточны ли вода и воздух для питания растений и способны ли при таком питании растения вполне развиваться. Для решения другого вопроса, какие элементы или соединения должны присоединиться к воде и воздуху для достижения названной цели, Соссюр предпринял многочисленные опыты над питательными растворами, создав таким образом новый метод исследования, которым он пользовался в широких размерах.

Эти опыты имели тоже основоположное значение. Испытуемым растениям предлагались прежде всего растворы, содержавшие каждый только одну какую-нибудь соль. Ход исследования и результаты его были очень поучительны. Каждый раствор состоял из 40 куб. дюйм. воды и содержал 100 частей той соли, влияние которой на испытуемое растение (*Polygonum persicaria*) хотели исследовать. Опыт прерывался каждый раз, когда растение усвоило половину раствора. Анализ оставшейся половины раствора показал, что из предложенных 100 частей *Polygonum* усвоило следующие количества:

Хлористый калий . .	14,7 части
Сернонатриевая соль	14,4
Поваренная соль . . .	13,0
Хлористый аммоний .	12,0
Уксуснокислая соль кальция .	8,0
Азотнокислая соль кальция	4,0
и т. д.	

Другие растения усваивали эти соли в других количествах. Вообще оказалось — как это видно и на примере вышеприведенных чисел, — что вода проникает в растения гораздо легче, чем раство-

ренные в ней вещества. Действительно, в то время как в растение проникали 4 части азотнокислой соли кальция (см. вышеприведенный пример), 46 частей этой соли оставались в растворе, повышая таким образом его концентрацию.

Видоизменяя свой опыт, Соссюр стал затем давать растению в соответствии с естественными условиями его существования одновременно несколько солей в растворе. И на этот раз он брал питательные растворы вполне определенного состава и анализировал их, когда они были усвоены растением до половины своего первоначального объема. Благодаря этому он получил вполне безупречные и сравнимые между собой числовые значения. Из этих опытов Соссюра мы приведем здесь только один. Если в каком-нибудь растворе содержалось 100 частей поваренной соли вместе со 100 частями сернонатриевой соли, то *Polygonum* усваивало 22 части первой соли и 11,7 части второй. Этот важный факт, легший в основу всех позднейших аналогичных исследований, доказывал, что в растворе из нескольких веществ растение выбирает предпочтительно определенные вещества. Исследуя золу от испытуемых растений, Соссюр мог убедиться в том, что исчезнувшее из раствора количество соли действительно проникло в растение. Соссюр взял два экземпляра *Polygonum* совершенно одинакового веса и дал расти одному из них в дистиллированной воде, а другому в растворе хлористого калия. При сжигании растений оказалось, что у второго экземпляра количество золы увеличилось ровно на то количество хлористого калия, которое исчезло из раствора. В эпоху, когда научно образованные люди еще верили, что растения обладают способностью производить элементы и превращать их друг в друга, подобные опыты представляли исключительную важность.

Гораздо труднее было при неразработанности в то время методов анализа минералов выяснить вопрос о составе и значении усвоенных из почвы составных частей золы растения. В то время было широко распространено мнение, что встречающиеся в растениях минеральные вещества находятся там случайно и совершенно не нужны для их существования. Некоторые исследователи шли еще дальше и из того обстоятельства, что известные соли вредны определенным растениям, умозаключали, что вообще все соли не только не приносят никакой пользы растениям, но, наоборот, более или менее вредны для них. Соссюру благодаря своим исследованиям удалось покончить в этом вопросе по крайней мере с наиболее грубыми заблуждениями. Утверждение, будто ничтожное количество золы растений свидетельствует о ее бесполезности, он опровергнул указанием на содержащуюся в организме животных фосфорнокислую соль кальция, составляющую только совсем незаметную долю веса животных. А между тем никто не сомневается в том, что эта соль безусловно необходима для образования костей. Соссюр нашел эту соль в золе всех исследованных им растений и высказал мнение, что они не могут существовать без фосфорнокислой соли кальция. Важнейшими составными частями

растения Соссюр признал, кроме этой соли кальция, соединения магния и железа, а также кремневую кислоту. Несмотря на все значение этих результатов исследований Соссюра, подкрепленных многочисленными, долгое время считавшимися непревзойденными анализами золы, в необходимости для растения составных частей золы не переставали сомневаться до тех пор, пока Либих в 30-х годах XIX в. не решил окончательно этого вопроса в пользу теории Соссюра¹.

Вопрос об усвоении растениями азота был решен только впоследствии Буссенго (Boussingault). Правда, уже Соссюр доказал, что растение не ассимилирует атмосферного азота. Но вопрос о том, откуда растение заимствует такое значительное количество содержащегося в нем азота, оставался открытым. Соссюр высказал догадку, что это может происходить из находящихся в почве растительных и животных остатков. Но утверждение это, напоминавшее одностороннюю гумусную теорию, не имело никакого смысла, так как требовалось ведь указать источник, откуда животные и растения черпают свой азот.

Наконец, Соссюр предпринял ряд важных опытов, чтобы выяснить роль кислорода при обмене веществ растения, роль, на которую указывал уже Ингенгус. Прежде всего он установил, что для прорастания растения необходимы кислород и вода. Хотя вода, проникая в клеточную ткань, увеличивает объем семян, однако без содействия кислорода они не могут прорасти. Далее, Соссюр показал, что при прорастании кислород исчезает и заменяется равным объемом углекислого газа. Действительно, прорастающие семена, как и сжигаемый углерод, несколько не изменяли объема кислородного газа, который они превращали в углекислый газ. Путем многочисленных опытов Соссюр доказал, что этот аналогичный дыханию животных процесс происходит и в совсем созревших частях растений.

Соссюр брал, например, свежие листья и помещал их на ночь в наполненный воздухом сосуд. В этом случае кислород воздуха исчезал, и образовывался углекислый газ, объем которого, правда, был меньше, чем объем потребленного во время опыта кислорода. Если на следующий день листья выставлялись снова на солнечный свет, то они выделяли почти такое же количество кислорода, какое они поглотили ночью. Если они были настолько живучи, что способны были продержаться несколько дней, то можно было наблюдать любопытное зрелище: листья каждую ночь уменьшали атмосферу, в которой они находились, а на следующий день увеличивали ее почти на такую же самую величину.

Свои исследования о влиянии кислорода на растения Соссюр распространил также на стебли, корни и цветы. Он показал, что этот газ необходим для незеленых частей растения и что последние, поглощая кислород, выделяют углекислый газ, с тем, однако, отли-

¹ Вполне правильные взгляды о происхождении золы растений высказал в 1803 г. уже Бертелле (фон-Липпман в „Abhandl. u. Vorträge“, I, 339).

чем от зеленых частей растения, что они неспособны превратить обратно этот продукт в кислород. Кроме этого, Соссюр доказал еще, что при дыхании вещество растения испытывает потерю в весе, равную весу выделенного углерода. Соссюр, далее, обратил внимание и на то, что части растения, обнаруживающие более энергичную жизнедеятельность (как например побеги и распускающиеся цветы), потребляют больше кислорода, чем менее деятельные части растения. Мало того: впоследствии¹ ему удалось даже установить определенные отношения между потреблением кислорода и вызванным благодаря этому нагреванием цветов.

Благодаря всем этим исследованиям были заложены самые первые основы учения о дыхании растений и переброшен мост между растительным и животным царствами. Проникнутый значением своих открытий, Соссюр высказал следующую мысль: если подходить к растениям и животным под углом зрения анатома, то трудно найти в них что-нибудь общее. Если же принять во внимание важнейшие физиологические явления, как например питание, выделения, влияние кислорода и т. д., то нельзя не признать поразительного сходства между животными и растениями.

Мы рассмотрели работы Соссюра несколько более подробно потому, что в области физиологии питания не появлялось больше такого революционизирующего науку труда. Нельзя в достаточной степени горячо рекомендовать внимательное изучение „Исследований“ Соссюра, отличающихся одинаково как ясной постановкой вопросов, так и превосходными методами решения их².

ОСНОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ КАК ОСОБОЙ ОТРАСЛИ БОТАНИКИ

Декандолль, с заслугами которого в деле основания морфологии и систематики растений мы уже познакомились³, первый стал трактовать физиологию растений как особую отрасль ботаники, занимающуюся всеми процессами жизни растений. Декандолль поставил себе задачу изложить физиологию растений на основе данных физики, химии, анатомии и биологии как „особую, замкнутую науку и получить таким образом полную и всестороннюю картину жизни растений“. В этом начинании у Декандолля не было предшественников. Поэтому и труд, в котором он решил поставленную себе задачу, имеет совершенно исключительное значение. Труд этот замечателен не столько новыми, содержащимися в нем открытиями, сколько умелым соединением известных до Декандолля фактов, той комбинацией их, благодаря которой только и получается из хаоса разрозненных знаний наука в подлинном смысле этого слова.

¹ 1822.

² См. 15 и 16-й томики остальдовской серии классиков точного знания.

³ См. стр. 216 настоящего тома.

В нижеследующем изложении мы попытаемся дать понять читателю это основоположное значение труда Декандолля, появившегося в 1832 г. под названием „Физиология растений или изображение жизненных сил и жизненных функций растений“¹.

В своей „Органографии“ Декандолль описал части, из которых состоит растительная машина. В „Физиологии“ он пытался изобразить эту машину в действии и исследовать движущие ее силы, а также производимые ими результаты. Силами растительного организма Декандолль считал физические силы, химическое сродство и жизненную силу. В последней он видел причину физиологических процессов. У животных к этим силам присоединяется еще одушевленность как причина психологических процессов в самом широком смысле слова. Декандолль принимал, что одушевленность свойственна только животным.

Под жизненной силой Декандолль понимал причину, вызывающую во время жизни растений явления, которые необъяснимы одними только известными силами. Однако Декандолль пытался по возможности обойтись одними физико-химическими силами. Жизненная сила для него — недоступный объяснению остаток, остаток, который, несмотря на все стремления к чисто механическому объяснению, не исчез еще окончательно из современной физиологии и не исчезнет из нее и в ближайшее время. „Если, — говорит Декандолль, — мы испытаем одну за другой все известные нам физические и химические причины, способные вызвать известное действие, то часть явления, остающуюся еще необъясненной, мы припишем скрытому влиянию жизни“.

В проявлениях деятельности живой животной ткани можно по Декандоллю различить три ступени: процессы питания и роста, раздражимость и ощущение. Декандолль исследует затем, в какой мере эти свойства присущи также растениям, и замечает, что между обоими царствами трудно провести естественные границы, так что нельзя решить, являются ли известные тайнобрачные или зоофиты растениями или животными.

Исследование процессов питания приводит к тому выводу, что отдельные наблюдаемые здесь явления и последовательность, в которой они протекают, вполне аналогичны в обоих царствах. Различия между животными и растениями рассматриваются как более или менее непосредственное следствие подвижности первых и неподвижности последних.

Этот параллельно протекающий у растений и животных ряд процессов питания представляет по Декандоллю следующую картину: прежде всего питательные вещества доставляются организму в жидком или твердом виде. Затем пища попадает в перерабатывающие ее органы (желудок, листья). Получившийся питательный

¹ Немецкий перевод этого произведения был сделан Репером (Röper) (книго торговая Котты, 1832). Оригинал носит следующее заглавие: „Physiologie végétale ou exposition des forces et des fonctions vitales des végétaux“ par A. P. De Candolle Paris 1832.

сок вступает затем как у животных, так и у растений в реакцию с атмосферным воздухом, чтобы выделить путем испарения известные вещества и получить кислород, а у ассимилирующих растений, кроме того, и углекислый газ. Приготовленный таким образом питательный сок попадает затем главным образом в самые деятельные части организма, где отлагает свои составные части в клеточной ткани. Часть пищи отлагается также в особенных органах (клубни, как запасные хранилища растений). Наконец, некоторые специфические органы, называемые железами, обладают способностью выделять из питательного сока особенные вещества, с одной стороны, для того, чтобы освободить от них организм, а, с другой, для достижения каких-нибудь специфических целей.

Затем Декандолль приступает к рассмотрению всех этих процессов в частностях. Он изучает, какие силы обуславливают всасывание питательной жидкости; он исследует состав питательного раствора, пути, по которым он поднимается вверх в растениях, причины этого подъема, скорость передвижения, силу и количество питательного сока, роль, играемую при питании атмосферой, и т. д. Под влиянием совокупного действия этих процессов возникает, по мнению Декандолля, новый сок. Он, правда, менее бросается в глаза, чем восходящий сок, но в существовании его нельзя сомневаться.

Декандолль окончательно опровергнул мнение, будто у растений существует круговорот соков, аналогичный кровообращению у животных. Правда, у растений согласно Декандоллю существует сок, соответствующий крови животных в том отношении, что он обуславливает рост и питание органов. Этот сок образуется в листьях. Там усвоенный из почвы питательный раствор концентрируется, ибо листья испаряют чистую воду, сохраняя все минеральные составные части, которые принесла с собой вода¹. В листьях концентрированный сок встречается с солнечными лучами; благодаря этому разлагается растворенный в питательном соке углекислый газ, происходящий отчасти из почвы, отчасти из атмосферы. Первым продуктом ассимиляции Декандолль считает камедь, которая состоит из одной молекулы воды и одного атома углерода (СН₂О) и которая путем ничтожнейших изменений может превратиться в крахмал, сахар или клетчатку.

Получившийся таким образом сок должен, очевидно, пропитывать все растение до корней и либо используется в растущих частях, в запасных хранилищах и в выделяющих тканях, либо испытывает дальнейшие превращения.

Таковы заложенные Декандоллем основы учения о питании растений, подтвержденные всеми позднейшими исследованиями, хотя в отдельных подробностях картина эта впоследствии подверглась изменениям или усовершенствованиям. Достижения в области физиологии растений современных Декандоллю немецких ученых² не

¹ Decandolle, т. 1, стр. 421.

² Здесь надо в особенности отметить Тревирануса (Treviranus), который в 1835 г. выпустил «Физиологию растений».

могут и в отдаленной степени сравниться с его работами. В Германии под влиянием натурфилософии старались свести все процессы к действию жизненной силы. Кроме того, немецкие исследователи той эпохи, занимавшиеся физиологией растений¹, не прошли такой школы точного знания, какую прошел Декандолль под влиянием женеvских и парижских физиков и химиков. Только на этой основе, имевшей решающее влияние и для произведенной Лавуазье реформы химии, физиология могла подняться на уровень измеряющей, взвешивающей, индуктивной естественной науки. Идя по этому пути в последующие десятилетия XIX в., немецкие ученые, как мы это покажем подробнее в дальнейшем, добились величайших успехов.

¹ Me yen, Neues System der Pflanzenphysiologie, 1838.



УСПЕХИ ЗООЛОГИИ И СЛИЯНИЕ ЕЕ СО СРАВНИТЕЛЬНОЙ АНАТОМИЕЙ

В области зоологии Бюффон, выдвинувший в своей „Естественной истории“¹ некоторые общие точки зрения, высказал мысль о едином, охватывающем все животное царство плане. Бюффон в этом отношении шел еще дальше. По его мнению², нет существенного отличия между животным и растением, а существует непрерывная иерархия, ведущая от самого низкого растительного организма до самого совершенного животного. План этот, по которому якобы образован человек и прочие твари, показывает, согласно Бюффону, что все существа созданы по одному прототипу и с этой точки зрения являются одним большим семейством. Так как при тогдашних недостаточных знаниях в области анатомии нельзя было окончательно решить этого вопроса, то рассуждения Бюффона остались на первых порах только остроумной гипотезой.

После Бюффона идея о единстве животной организации нашла ревностного сторонника в Жоффруа Сент-Илере (Geoffroy Saint-Hilaire)³. Гете также сочувствовал этой идее, которая, однако, не могла устоять перед результатами анатомических исследований Кювье.

Если присмотреться к успехам зоологии, сравнительной анатомии и палеонтологии в течение новейшей стадии развития этих наук, датирующей с начала XIX в., то внимание прежде всего привлекает к себе Кювье, на изложении взглядов которого мы поэтому остановимся несколько подробнее, подобно тому как мы это сделали по отношению к Гей-Люссаку, мастеру физико-химического исследования в ту эпоху.

КЮВЬЕ ЗАКЛАДЫВАЕТ НОВЫЕ ОСНОВЫ ПАЛЕОНТОЛОГИИ

Жорж Кювье родился в 1769 г. в Монбельяре, представлявшем тогда часть Франш Конте, входившую в Вюртемберг. Он умер в Париже в 1832 г. Уже ребенком Кювье обнаруживал совершенно

¹ Buffon, Histoire naturelle, générale et particulière, 1749—1788.

² „Histoire naturelle“, II, 4. Это мнение высказал уже Аристотель. (Дополнение фон-Липпмана.)

³ Жоффруа Сент-Илер родился в 1772 г. недалеко от Парижа. Он был профессором зоологии в парижском Jardin des plantes и умер в Париже в 1844 г.

исключительные способности. По окончании им гимназии герцог Карл Евгений, охотно поощрявший молодые таланты, обратил на него внимание. Благодаря этому Кювье попал в 1784 г. в Академию Карла, где изучал юриспруденцию. Но уже до того он под влиянием чтения сочинений Бюффона пристрастился к естественным наукам. В Академии Карла Кювье, не ограничиваясь своими учебными занятиями, нашел еще досуг, чтобы создать среди воспитанников школы естественнонаучный кружок, поставивший себе задачу собирать в окрестностях города растения и животных и определять их по линеевой „Системе природы“.

В 1788 г. Кювье покинул академию и получил место домашнего учителя в Нормандии. Здесь Кювье нашел досуг и возможность заняться исследованием морских животных. Он исследовал внутреннее строение моллюсков, раков, морских звезд, морских ежей и т. д. и пришел к убеждению, что соединение столь различных существ в одном классе, как это сделал Линней, совершенно неправильно.

Кювье работал таким образом в тишине 4 года, когда один заброшенный бурями революции в Нормандию парижский ученый, так сказать, впервые открыл его. Этот ученый написал своим друзьям, что трудно найти более подходящего для сравнительной анатомии человека, чем Кювье. Благодаря этому Кювье в 1795 г. попал в Париж, где он стал профессором в Ecole centrale.

В конце XVIII в. стали известны богатейшие остатки ископаемых млекопитающих и птиц парижского бассейна. Это вызвало необычайный интерес к геологическому исследованию этой местности. Кювье тоже через несколько лет после своего прибытия в Париж увлекся этой работой, в которой он уже через короткое время занял руководящее положение. Кювье заинтересовался этим вопросом под влиянием присылки нескольких костей, найденных в гипсовых ломках Монмартра. Познания Кювье в области современных животных форм были так обширны, что он тотчас же смог установить доисторическое происхождение этих остатков. Отныне все находки в гипсовых ломках пересылались Кювье, открывшему благодаря исследованию их для палеонтологии почти совершенно новый путь, на котором до него было сделано лишь несколько шагов.

„В качестве исследователя древностей совершенно нового типа, — говорит Кювье¹, — я должен был дополнять показания этих свидетелей прошлых переворотов и пытаться разгадать их собственное значение. Я должен был собирать их раздробленные останки и складывать их в их первоначальном порядке, как бы воссоздавать животных, которым они принадлежали, и сравнивать их с современными животными“. В своей работе Кювье руководился особенно ясно сформулированным им принципом корреляции органов. Согласно этому принципу каждый организм представляет собой замкнутое целое, между частями которого существует такое тесное взаимоот-

¹ Cuvier, Discours sur les révolutions de la surface du globe, I, 1.

ЖОРЖ КЮВЬЕ

1769—1832

ношение, что ни в одном органе не может произойти какого-нибудь изменения, которое не вызвало бы соответствующих перемен во всех других частях животного.

Посмотрим как руководился¹ Кювье этой точкой зрения при определении ископаемых костей: „Если внутренности животного устроены так, что они могут переваривать только мясо, то его челюсти должны быть приспособлены для пожирания, его когти — для хватания и разрывания, его зубы — для разрезывания и измельчения, вся система органов передвижения — для преследования и настигания добычи, органы чувств — для восприятия этой добычи. Но с этими общими условиями связаны еще некоторые специфические данные, так, например, для того чтобы животное могло уносить добычу, требуется определенная сила мышц, поддерживающих голову, а это предполагает определенную форму позвоночников, где начинаются мышцы, и затылка, к которому они прикреплены“. В дальнейшем Кювье показывает, что предплечье животного, хватающего свою добычу, должно обладать известной формой, определяющей в свою очередь форму плечевой кости. Словом, оказывается, что форма зуба обуславливает форму затылочного бугра, костей конечностей, когтей и т. д., так что при основательном знании этой взаимной зависимости можно на основании одной только формы зуба как бы реконструировать все животное. Но это, разумеется, было доступно только мастеру сравнительной анатомии. Кювье является настоящим творцом этой отрасли знания, хотя у него и были достойные предшественники. Он первый подчинил скальпелю все животное царство и сделал это с таким мастерством, что работы его могут служить образцом для всех времен. Так возник его главный анатомический труд², в котором наряду с массой новых открытий дается объединение всего фактического материала, позволяющее заглянуть в законы животной организации так глубоко, как это не удавалось ни одному прежнему анатомическому труду и удалось лишь немногим последующим. Из специальных исследований Кювье следует указать в особенности на его работы о нижней гортани птиц, об анатомии улитки и о кровообращении у беспозвоночных.

За это время Кювье стал профессором сравнительной анатомии при Jardin des Plantes³, а вскоре вслед за тем секретарем Академии наук. Эти высокие научные посты, предоставлявшие в его распоряжение массу всякого рода вспомогательных средств, облегчили ему составление великого труда его жизни. Да и вообще вся обстановка была крайне благоприятна для работы Кювье. Со времени французской революции точным наукам придавали во Франции очень большое значение. Наполеон завязал тесные личные отношения с Кювье,

¹ Cuvier, Discours sur les révolutions, I, 87.

² „Leçons d'anatomie, comparée“ 1805. Перев. на нем. язык Фрорипом (Froriep) и Меккелем (Meckel), 4 тома, Лейпциг 1809.

³ В 1802 г.

которого он ценил особенно высоко. Он поручил Кювье дело реорганизации народного образования. Благодаря этому великий ученый, административная деятельность которого простиралась и на итальянские университеты, мог предпринять далекие путешествия и познакомиться с иностранными идеями. Но центром всякого рода естественнонаучных коллекций был сделан Париж, куда благодаря завоевательным походам французских армий стекались не только самые выдающиеся сокровища искусства, но и богатый научный материал. Париж был тогда не только политическим, но и духовным средоточием мира.

Создав основы сравнительной анатомии, Кювье стал стремиться к тому, чтобы слить эту науку с зоологией и составить классификацию форм, которая была бы точным и полным выражением природы¹. „Когда я начал работать, — говорит он², — в науке господствовала система Линнея. Правда, существовали обстоятельные работы об отдельных классах животных; но исследователи ограничивались при этом рассмотрением только внешних отношений между видами; никто не попытался исследовать классы и их подгруппы по совокупности внешних и внутренних признаков. Поэтому и в анатомии и зоологии я должен был начать с расчленения и разделения, чтобы путем взаимного оплодотворения обеих этих наук создать зоологическую систему“. Основные черты этой системы Кювье опубликовал в знаменитом мемуаре от 1812 г., озаглавленном: „О новом распределении классов, составляющих животное царство“³.

Система Кювье является величайшим достижением зоологии со времен Аристотеля. Под названием „червей“ Линней объединил многочисленных и разнообразных животных, для которых он не мог указать общего признака. Когда Кювье работал над своими первыми мемуарами по сравнительной анатомии, то он не мог найти ни одного общего признака для червей, безразлично, шло ли дело об их нервной системе, о кровообращении, об их органах дыхания, размножения, пищеварения. Благодаря этому ему стало ясно, что класс этот, в отличие от прочих классов, не основан на положительных признаках. Поэтому в 1795 г. Кювье предложил разделить „червей“ на четыре класса, в основе которых были бы такие же определенные различия, какие лежат в основе классов позвоночных. В то время как классы позвоночных имеют значительное количество общих признаков, у беспозвоночных животных этого не наблюдается. „Классы позвоночных, — говорит Кювье, — построены в известной мере по одному и тому же плану. Но если желаешь описать систему органов беспозвоночных животных, то приходится составить почти столько же схем, сколько создано классов внутри беспозвоночных“. Таким образом Кювье пришел к мысли

¹ „Règne animal“, 2-е изд., I, 10.

² В предисловии к первому изданию „Règne animal“.

³ „Sur un nouveau rapprochement à établir entre les classes, qui composent le règne animal“, „Annales du Muséum d'histoire naturelle“, т. XIX, 1812, стр. 73 и сл.

о необходимости координировать известные классы беспозвоночных со всей группой позвоночных. В результате он установил четыре главных плана, согласно которым, по его мнению, организованы все животные. Подразделения полученных таким образом четырех главных групп или кругов обуславливаются, по его мнению, тем, что благодаря развитию и появлению известных частей происходят незначительные изменения, несколько, однако, не влияющие на основные черты плана.

Дав точную характеристику основных анатомических черт каждого круга, Кювье получает следующую классификацию животного царства.

I КРУГ. ПОЗВОНОЧНЫЕ.		III КРУГ. МЯГКОТЕЛЫЕ.	
1-й класс.	Млекопитающие.	1-й класс.	Головоногие.
2	Птицы.	2	Брюхоногие.
3	Ползающие животные (пресмыкающиеся и земноводные).	3	Птероподы.
4	Рыбы.	4	Пластинчатожаберные.
II КРУГ. ЧЛЕНИСТЫЕ.		IV КРУГ. ЛУЧИСТЫЕ.	
1-й класс.	Кольчатые черви.	1-й класс.	Иглокожие.
2	Ракообразные.	2	Глисты.
3	Паукообразные.	3	Зоофиты или полипы.
4	Насекомые.	4	Инфузории.

Эта классификация Кювье образует еще и в настоящее время в существенных чертах основу естественной системы. Но число типов доведено до 7. Сперва путем выделения инфузорий из числа лучистых был образован тип простейших. Затем иглокожие, обладающие кишечником, были противопоставлены как особый тип бескишечным лучистым (кораллам, актиниям и т. д.). Наконец, кольчатые черви вместе с глистами и другими низшими формами были объединены в тип червей. Кроме того, открытие многочисленных соединительных звеньев между отдельными кругами позволило рассматривать все животное царство как единство в высшем смысле слова.

Результаты сравнительно-анатомических исследований Кювье противоречили учению о единстве животной организации, защищаемому представителями натурфилософии. Его продолжавшиеся в течение десятков лет работы доказали бесспорным образом, что кажущееся необозримым многообразие живых существ может быть сведено к нескольким типам или всеобщим планам организации. Созданная Кювье система, а в особенности его основная идея, что существуют такие всеобщие планы организации, была в основном подтверждена позднейшими исследованиями, в особенности эмбриологического характера. Если и пришлось увеличить число типов, а также принять существование промежуточных форм, то само понятие типа все же сохранилось. И во всяком случае оказались несостоятельными теории вроде учения Жоффруа Сент-Илера о том, что насекомые с их расположенной на брюшной стороне нервной системой являются перевёрнутыми позвоночными.

Исследования Кювье об ископаемых животных тесно связаны с результатами его зоологических работ. Установленные им для живущих еще животных главные планы были найдены и у прошлых форм, так что можно было соединить вымершие организмы с теперешними животными в одну великую систему.

Кювье доказал, что вымершие позвоночные, которыми он главным образом и занимался в своих палеонтологических исследованиях, отличаются от современных позвоночных настолько, что в лучшем случае их можно подвести только под одно и то же родовое понятие. С этим фактом трудно было примирить учение о постоянстве видов. Поэтому Кювье допускал, что свойственный каждой геологической эпохе органический мир был создан особым актом творения; гармония же всего творения находила свое выражение в соблюдении установленных им планов организации. Каждому новому акту творения предшествовало уничтожение всех живых существ. Это по Кювье происходило путем колоссальных геологических переворотов, следы которых, по его мнению, можно видеть в изменениях, испытанных горизонтальными первоначально пластами, содержащими в себе окаменелости. В одной из дальнейших глав мы рассмотрим, какое влияние на развитие палеонтологии и геологии оказали эти воззрения Кювье, разделявшиеся его современниками.

Если мы упомянем еще, что в 1817 г. Кювье выпустил обширный труд¹ под названием „Животное царство“, то мы дадим этим хотя и не исчерпывающее, но достаточное представление о значении этого необыкновенного ученого. 13 мая 1832 г. Кювье после короткой болезни скончался. „До тех пор, пока будет существовать мир, — писал один выдающийся современник Кювье в посвященном ему некрологе², — почивший будет сверкать яркой звездой на небе естественной истории, привлекая к себе взоры последующих поколений, которые при свете ее сумеют восхищаться, исследовать, классифицировать, понимать и использовать природу“.

После того как в анатомии сравнительное направление одержало победу над односторонне описательным, стали рассматривать и человеческий организм с более общей точки зрения. Уже Линней отвел человеку место в своей системе — именно в отряде приматов, — заметив при этом, что ему до сих пор не удалось установить ни одного анатомического признака, по которому можно было бы отличать организацию человека от организации обезьяны. Из попыток указать этот не найденный Линнеем „признак человечности“ и вообще из попыток рассматривать человека как дело рук природы выросла современная антропология, существование которой как науки датируют с появления книги Блюменбаха (Blumenbach) „О прирожденном различии человеческого рода“³. В этой работе Блюменбах старается доказать, что человечество состоит из рас, возникших из одного общего корня, подобно тому как имеют общее происхождение раз-

¹ Cuvier, Règne animal.

² Окен (Oken) в журнале „Isis“ за 1832 г., стр. 1303.

³ „De generis humani varietate nativa“, Göttingen 1775.

новидности домашних животных. Хотя Блюменбах понимал, что эти разновидности переходят друг в друга путем едва заметных градаций, но все же он решился установить свои известные пять главных рас (кавказцы, монголы, эфиопы, американцы, малайцы)¹.

Блюменбах, являющийся одним из самых первых сравнительных анатомов и творцом этнографической краниологии, считает существенным анатомическим признаком, отличающим человека от высших животных, в особенности от обезьян, выступающий подбородок и обусловленное этим вертикальное положение нижних резцов. Голландский ученый Петер Кампер (Camper) (1722—1789), предшественник Кювье в области сравнительной анатомии, указал в одной превосходной работе об орангутанге на то, что лицевой угол этой высшей из обезьян значительно меньше лицевого угла наиболее низко стоящих человеческих рас.

¹ Подробнее см. D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 4 изд. 1922, отдел 46.





ГЕОЛОГИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ ПРИ ГОСПОДСТВЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

Уже Геттон (Hutton) высказал в своей „Теории земли“ принятый в настоящее время взгляд¹, что современное состояние нашей планеты следует объяснять при помощи действующих еще и теперь сил, но с учетом, разумеется, обширных промежутков времени. Однако большинство геологов допускало для предыдущих эпох развития земли существование совершенно необыкновенных сил и обстоятельств.

Во многих случаях это известное под названием теории катастроф учение питалось — вплоть даже до XX в. — стремлением примирить науку с библейской традицией. Некоторые исследователи готовы были даже видеть в потоке, о котором говорится в библии, последнюю великую катастрофу. К приверженцам теории катастроф принадлежал и Кювье. Мы уже познакомились с выдающимися заслугами этого ученого в области сравнительной анатомии и зоологии. Исходя из этих научных дисциплин, Кювье поставил палеонтологию на новые основы. Но в общей геологии воззрения и познания Кювье далеко уступали теориям таких исследователей, как Геттон и Фюксель (Füchsel). Тем не менее взгляды эти, поддерживаемые великим авторитетом Кювье в ряде научных дисциплин, теснейшим образом связанных с геологией, господствовали в начале XIX в.

Этому способствовало и то обстоятельство, что великий французский исследователь включил свои общегеологические теории в свой классический труд по палеонтологии², предпослав им ему в виде своего рода предисловия, что снискало им особенное внимание со стороны современников Кювье.

Описав свойства доступных нам частей земли и еще действующие в настоящее время геологические силы, Кювье приходит к

¹ Уже Аристотель высказал этот взгляд. (Дополнение фон-Липпмана).

² „Recherches sur les ossements fossiles“, 1811. Первая глава, содержащая основные черты учения о катастрофах, озаглавлена: „Discours préliminaire“. Во втором издании (1821—1824 гг.) эта глава озаглавлена: „Discours sur les révolutions de la surface du globe“. Глава эта неоднократно издавалась в немецких переводах, так, например, в переводе К. Г. Гибеля (C. G. Giebel) под названием „Die Erdumwälzungen.“

тому результату, что этих сил недостаточно, чтобы вызвать изменения, следы которых нам представляет земная кора.

Изменения, происходившие в течение истории земли в органическом мире, вызывались, по мнению Кювье, переменами в окружающей среде или, по крайней мере, совершались параллельно с ними. Перемены эти, согласно Кювье, происходили не постепенно, а внезапно, катастрофически. Так как среди морских образований встречаются пласты, заполненные остатками сухопутных и пресноводных животных и растений, то приходится заключить, что неоднократно части суши снова затоплялись. В пользу своего утверждения, что эти перемены происходили внезапно, Кювье ссылаясь в особенности на открытие в сибирских льдах трупа мамонта. Последняя катастрофа, говорит он, оставила на крайнем севере трупы громадных четвероногих, которые оказались заключенными в лед и целиком сохранились до наших дней. Если бы наступление холода и смерть животных не произошли одновременно, то животные подвергались бы разложению. С другой стороны, этот вечный холод не мог раньше царить в местах, где были захвачены им эти животные, так как они не могли бы существовать при подобной температуре. Следовательно, смерть этих животных наступила в тот самый момент, в который обитаемая ими местность покрылась льдом. Это должно было произойти внезапно, а не постепенным образом. И то, что кажется нам столь очевидным для этой последней катастрофы, то, несомненно, имело место и для предыдущих катастроф. Разрывы и изгибы, наблюдаемые в древнейших пластах, свидетельствуют, по убеждению Кювье, о действии внезапных и грандиозных причин, придавших им их теперешний вид.

Ошибка Кювье происходила отчасти оттого, что он преуменьшал продолжительность геологической эволюции. Так, например, он допускал, что последняя катастрофа на земле произошла всего за каких-нибудь 5000 лет до нашего времени. Хотя заблуждения Кювье сыграли в области общей геологии такую же роль, какую сыграла ньютонова теория истечения в оптике, но в области палеонтологии ему принадлежит величайшие заслуги. Тесно связав эту науку с зоологией и анатомией, он сумел вдохнуть в нее совершенно новый и творческий дух.

Окрестности Парижа, давшие Кювье большую часть материала для его палеонтологических исследований, особенно богаты остатками ископаемых млекопитающих. Огромную трудность для исследования представляло то обстоятельство, что целые скелеты встречались в горных породах крайне редко; исследователи имели перед собой отдельные, разбросанные в хаотическом беспорядке и по большей части раздробленные кости. Но все эти трудности исчезли, когда Кювье сформулировал упоминавшийся уже ранее¹ основной закон сравнительной анатомии—принцип корреляции органов. Согласно этому принципу, взаимоотношение между органами

¹ См. стр. 335 настоящего тома.

животных носит такой характер, что по свойствам одной какой-нибудь части животного организма можно определить последний целиком.

Применяя этот принцип и сравнивая постоянно остатки ископаемых со скелетами живущих еще животных видов, Кювье сумел реконструировать из разбросанных костей, находившихся в парижском гипсе, вымершие роды палеотерия и аноплотерия. При более тщательном изучении оказалось, что эти существовавшие в средний третичный период (олигоцен) роды содержали довольно много видов. В палеотерии с его тремя одинаковыми копытами признали предшественника лошади, а в аноплотерии — прототип жвачного. В монмартрском гипсе были установлены также остатки хищных, сумчатых, птиц, пресмыкающихся и рыб. Почти в любой глыбе этих третичных горных пород были найдены подобные разбросанные остатки, которые Кювье сумел свести к более чем 150 различным видам. Из этих видов более 90 было совершенно неизвестно естественным исследователям до Кювье.

Основываясь на своих исследованиях, Кювье пришел к более ясному представлению о геологической преемственности организмов, чем это было возможно до него. Он показал, что рыбы и яйцекладущие четвероногие появились на земле раньше, чем млекопитающие, и что вымершие роды последних встречаются в более древних пластах, чем роды, виды которых существуют еще и в наше время.

Ихтиозавры, плезиозавры, многие черепахи и крокодилы, писал Кювье в одной работе об отношении видов к горным породам, находятся под меловой областью, в так называемых юрских пластах. Многочисленные виды рыб из тюрингенского медного сланца еще древнее. В самих меловых формациях мы встречаем гигантских ящеров и черепах. Но, продолжает Кювье, кости наземных млекопитающих — если не говорить о челюстях сумчатых в юрских пластах — не встречаются ни в более древних горных породах, ни в меловых пластах. Несмотря на это, в общем правильное, представление о геологической преемственности крупных групп организмов, Кювье не догадывался о генетической связи, существующей между вымершими животными и современными животными.

Большое влияние на дальнейшее развитие геологии имела кипучая деятельность величайшего немецкого геолога фон-Буха. Лепольд фон-Бух родился в 1774 г. в Уккермарке¹. Одновременно с Гумбольдтом он под руководством Вернера стал изучать в Фрейбергской горной академии минералогию и геогнозию. Мы уже познакомились с Вернером как основателем этой последней дисциплины и крупнейшим защитником нептунистической теории². Когда Бух во время своих путешествий исследовал вулканические области Оверни и Италии, то у него возникли сомнения в правильности этого учения Вернера, наблюдения которого ограничивались

¹ Он умер в 1852 г. в Берлине.

² См. т. II.

центральной Германией. Вслед за тем Бух — как и его друг Гумбольдт — окончательно порвал с теорией Вернера.

Очень важные результаты дало произведенное Бухом исследование Скандинавского полуострова (1806—1808). Он изучил прежде всего взаимное расположение здесь горных пород и нашел, что гранит не всегда является древнейшей породой, так как иногда, например около Христиании, он покоится на известняке, содержащем в себе окаменелости. Древнейшей породой стали теперь считать гнейс.

Это открытие вызвало всеобщее изумление. Под влиянием его Гете, всегда живо интересовавшийся геологическими проблемами, сделал замечание, что сын стал отцом. Бух, далее, тщательным образом обосновал предположение о северном происхождении германских эрратических валунов. Наконец, ему удалось путем изучения береговых линий доказать медленное поднятие Скандинавии из морских пучин и основать в связи с этим современное учение о вековых поднятиях и опусканиях суши. Правда, уже Цельзий указал в 1740 г. на происходящие с скандинавскими берегами изменения, но он пытался объяснить их медленным опусканием уровня моря.

Не меньшее значение для развития геологии, чем труд Буха о Скандинавии, имела его книга „Физическое описание Канарских островов“¹. В этой книге устанавливалось различие между „центральными“ и „рядоположными“ вулканами и развивалось учение о возникновении последних на больших трещинах земной коры, соответствующих границам материков. Одновременно с этим Бух выдвинул теорию о поднятии благодаря вулканическим силам горных цепей и целых континентальных массивов. Если в подробностях эта теория и не была состоятельной, то она все же подготовила почву для современного учения о горообразовании.

Исследованию вулканизма в первую очередь было посвящено и американское путешествие Гумбольдта, поскольку оно касалось геологических явлений. Так, уже Гумбольдт высказал весьма правдоподобное предположение, что вулканы Центральной Америки расположены над трещиной в земной коре длиной в 150 миль.

Распространение геологических исследований на внеевропейские материки — как это сделал впервые Гумбольдт — было первым и необходимым условием того, чтобы установить универсальный характер созданных в Центральной Европе на основе ограниченного материала теорий о порядке залегания горных пород и чтобы создать почву для причинного объяснения этих явлений.

¹ Книга эта появилась в 1826 г., а группа Канарских островов была исследована Бухом лет за десять до того.



УСПЕХИ В ОБЛАСТИ ЭМБРИОЛОГИИ

В XVIII в. величайшие заслуги в деле изучения развития животного индивидуума принадлежали Вольфу¹. Но на первых порах его взгляды должны были уступить место теории эволюции. Однако в первой четверти XIX в. начинается благодаря работе ряда немецких исследователей необычайный расцвет эмбриологии, приведший к победе вольфова учения об эпигенезисе. „Немцы, — пишет Гиртль (Hyrtl), — могут с гордостью сказать, что все значительное, сделанное в эмбриологии, было создано их соотечественниками“. Кроме анатома Меккеля (Meckel), снова обратившего своим переводом работы Вольфа об образовании кишечного канала (1812 г.) внимание зоологов и физиологов на этот вопрос, инициаторами этого научного движения были главным образом Пандер (Pander) и фон-Бер (Baer).

Новая эра открывается исследованиями Пандера по истории развития цыпленка в яйце. Это, безусловно, классическая, притом самая значительная до тех пор, работа в этой области. Уже Вольф утверждал, что развитие зародыша имеет исходным пунктом листообразный пласт. „Пандер² показал, что все развитие цыпленка определяется образованием бластодермы“. Все дальнейшее, говорит он, есть не что иное, „как превращение этой наделенной неисчерпаемым импульсом к развитию оболочки и ее листьев“. Пандер показал, что уже в течение первых 24 часов зародышевый пласт расщепляется на три лежащих друг над другом листа. Наружный лист он назвал серозным, внутренний — слизистым, а промежуточный — сосудистым листом. Пандер заметил уже также специфический ход развития, свойственный каждому из этих первичных образований. Но продолжал работу в этом направлении главным образом фон-Бер, приобретший почетный титул величайшего эмбриолога всех времен.

¹ См. стр. 103 настоящего тома.

² Христиан-Генрих Пандер (1794—1865) начал свою работу по совету своего учителя Деллингера (Döllinger) и опубликовал ее в 1817 г. в виде диссертации. Впоследствии он выпустил немецкий перевод этого труда, к которому были приложены 16 превосходных гравюр. Подобно многим другим выдающимся немецким ученым XVIII и XIX вв. Пандер был членом Петербургской академии наук.

Карл-Эрнст фон-Бер¹ родился 28 февраля 1792 г. в Эстляндии. Наука он изучал сперва в Дерпте, а впоследствии в Вюрцбурге у Деллингера, по совету которого он, как и Пандер, стал заниматься эмбриологией. Деллингер выразил пожелание, чтобы один из его учеников взял на себя нелегкую работу прослеживания развития цыпленка час за часом. С этим предложением он обратился сперва к фон-Беру, который склонил своего товарища Пандера заняться этой работой. Фон-Бер стал профессором естественной истории в Кенигсберге, но впоследствии принял приглашение Петербургской академии наук и переехал в Россию.

Фон-Бер прославился главным образом тем, что он окончательно решил вопрос о существовании яйца у млекопитающих, в частности у человека, — вопрос, над которым тщетно бились ученые в течение тысячелетий. Около середины XVII в. было высказано предположение, что яйца у млекопитающих, в том числе и у человека, образуются в тех женских органах, которые известны под названием яичников. Голландский ученый де-Грааф (de Graaf) открыл наполненные жидкостью пузырьки, известные с тех пор под названием граафовых пузырьков. Многие анатомы приняли их за яйца, благодаря чему порождающий их орган был назван яичником.

Сам де-Грааф высказал предположение, что яйцо находится в пузырьке. В 1827 г. фон-Бер доказал правильность этого предположения². За несколько лет до того открыли в невысиженном яйце птицы зародышевый пузырек — одноклеточное образование, являющееся, как было замечено³, исходным пунктом образования бластодермы.

Фон-Бер доказал наличие этого зародышевого пузырька в яйцах прочих яйцекладущих животных, как лягушки, моллюски, черви и членистые, и показал, что из этого одноклеточного образования получается путем процесса дробления бластодерма как первый зачаток зародыша. Он доказал также, что основная часть желтка, считавшегося прежде яйцом, является только питательным веществом для развивающегося животного.

Так был найден закон развития всех животных, гласящий, что всякое, даже наивысшее, животное начинает свое существование

¹ В книге Ремигиуса Штёлцле (Remigius Stölzle) Karl Ernst v. Baers' Schriften, Stuttgart, Greiner u. Pfeifer, VI, стр. 230 содержатся избранные места из произведений фон-Бера. Книга эта описывает деятельность фон-Бера как преподавателя, исследователя и философа. Извлечения сделаны главным образом из „Речей“ фон-Бера. В них фон-Бер рассматривает проблемы натурфилософии, антропологии и учения о развитии.

Вильгельм Гааке (Haacke) издал биографию фон-Бера в виде третьего тома „Классиков естествознания“ („Klassiker der Naturwissenschaften“, Leipzig, Th. Thomas, 1905, 175 Seiten). Главным предметом книги Гааке является изложение универсального естественнонаучного мировоззрения фон-Бера.

Из „Речей“ фон-Бера приведем следующее меткое замечание о науке: „Наука вечна в своем источнике, неограничена во времени и пространстве в своей деятельности, необъятна по своему содержанию, бесконечна по своей задаче, недостаточна по своей цели“.

² v. Baer, De ovi et animalium genesi epistola.

³ И. К. Пуркинье (Purkinje) (1787—1869) был профессором в Бреславле. Symbolae ad ovi avium historiam ante incubationem, 1825.

в виде одноклеточного образования. Благодаря открытию яйцевой клетки и процесса дробления¹ впервые только оправдалось известное изречение Гарвея: „omne vivum ex ovo“. Благодаря этим же открытиям были заложены основы для учения о клетках, созданного вскоре затем Шванном (Schwann)².

Уже через год после открытия яйца млекопитающего фон-Бер выпустил первый том своего знаменитого труда „О развитии животных“ (Über die Entwicklung der Tiere — 1828 г., 2-й том появился в 1837 г.). Примыкая к исследованиям Пандера об образовании трех зачаточных глистов, фон-Бер показал, как из этих первичных образований развиваются отдельные органы и системы органов зародыша. Но в то время как Пандер, следуя традиции, ограничился изучением развития цыпленка, фон-Бер, пользуясь восторжествовавшим уже в анатомии сравнительным методом, распространил свои исследования на все группы позвоночных. Фон-Бер проследил прежде всего превращение зачаточных листьев в первую трубку и кишечную трубку и показал, как в первой происходит разделение на головной мозг и спинной мозг, а также образование путем выпячивания органов чувств, между тем как в кишечной трубке совершается аналогичное разделение на ряд отделов (полость рта, средний кишечник и т. д.). Фон-Бер доказал также возникновение органов дыхания и печени из кишечной трубки.

Из общих результатов, к которым пришел фон-Бер путем сравнительного исследования, упомянем еще следующие: первичный зачаток зародыша у всех позвоночных одинаков, однако в зависимости от типа, который обнаруживается в организации взрослого животного, развитие принимает вскоре различное направление. Далее фон-Бер подчеркивает, что имеется существенное различие между развитием высших и низших позвоночных, выражающееся в особенности в том, что у последних нет амниона и аллантаиса — эмбриональных органов, характерных для высших позвоночных. В отдельной работе фон-Бер исследовал также вопрос о связи зародыша млекопитающих с матерью³.

Начатое Пандером и фон-Бером дело продолжали многочисленные исследователи, на работах которых мы, однако, не можем здесь останавливаться. Упомянем только Ратке (Rathke)⁴, пролившего впервые свет на развитие половых органов позвоночных и открывшего зачатки жабр, так называемые жаберные щели, также у зародышей птиц и млекопитающих. Ратке же распространил на беспозвоночных исследование развития зародышевых пластов из яйцевой клетки. Основоположное значение в этом вопросе имело особенно его сочинение о развитии речного рака (1829 г.)

¹ Заметим, что первые наблюдения над процессом дробления были сделаны в 1824 г. Прево (Prevost) и Дюма (Dumas) на яйце лягушки. („Ann. des sciences nat.“, т. 2, стр. 110).

² См. т. IV настоящего сочинения.

³ v. Baer, Untersuchungen über die Gefäßverbindungen zwischen Mutter und Frucht in den Säugetieren, 1828.

⁴ Мартин-Генрих Ратке, профессор зоологии в Кенигсберге (1793—1860).

ПРИМЕЧАНИЯ

К стр. 41. Приведенные замечания Даннемана и Видемана об „измерительных работах без всякой примеси умозрений“ не дают правильной оценки указанной тенденции некоторых физиков. В действительности якобы отсутствие „всякой примеси умозрения“ является формой, прикрывающей умозрение сугубо спекулятивного характера. О работах Кулона сам Даннеман говорит, что „для Кулона электрическое притяжение и отталкивание были, как и ньютоново тяготение, силами дальнего действия, распространяющимися мгновенно через пустое пространство. Наличие подчеркнутых понятий показывает, что нельзя утверждать будто в работах Кулона нет примеси умозрения“.

К стр. 114. Даннеман, следуя традиции, сложившейся в антиматериалистической литературе, отождествляет механический метод с материалистическим. Вот почему для него неудача попыток механического объяснения природы в духе Лапласа эквивалентна крушению материализма и торжеству философии чистого опыта, родоначальником которой он делает Кирхгофа.

Однако диалектический материализм не падает вместе с механическим объяснением природы, ибо первый не сводится к последнему, и те трудности, которые механическое объяснение природы не может разрешить, успешно преодолеваются диалектическим материализмом. Неправильность такого отождествления особенно важно подчеркнуть теперь, ибо если раньше естествоиспытатели отождествляли механическое объяснение материализмом, не зная его высшей формы — диалектического материализма, то теперь идеалистически настроенная часть естествоиспытателей пользуется этим отождествлением как орудием сознательной борьбы с материализмом.

К стр. 114. Никакой действительной науки вне и независимо от практических применений не существует, но существует большее или меньшее абстрактное удаление научной дисциплины от практического базиса. Как это хорошо выясняет Маркс в своем „Введении в критику политической экономии“, такого рода абстрагирование и специализация являются строгой необходимостью самого научного метода. Последняя фраза Даннемана, очевидно, имеет в виду указанный метод абстракции и в этом лишь смысле может быть признана правильной.

К стр. 139. Термин „Kali“ в старой химической литературе обычно обозначает то, что ныне называют едким кали КОН или окисью калия K_2O . Аналогично для термина „Natron“.

К стр. 152. Даннеман дает здесь неточную формулировку принципа Лавуазье-Ломоносова, который является принципом сохранения веса, а не вещества вообще. Принцип сохранения вещества или материи гораздо более сложен, нежели принцип сохранения веса.

К стр. 157. Французского химика Пруста, или Пру (Proust, 1755—1826 гг.), не следует смешивать с англичанином Праутом (Prout W., 1782—1822 гг.), автором знаменитой гипотезы о происхождении всех элементов из водорода. В русской литературе Proust и Prout часто переводятся как Пру.

К стр. 161 и 196. См. прим. к стр. 139.

К стр. 222. Требование объяснения „происхождения вращательного движения“ имеет своим основанием закон инерции в форме, предложенной Ньютоном, именно то, что первичным является движение прямолинейно-равномерное по инерции. Однако Галилей и Декарт, а в новое время Г. Герц и А. Эйнштейн допускают в качестве естественного инерционного движения движение круговое или, в более общей форме, — по геодезическим линиям. С последней точки зрения наличие

¹ Примечания (кроме последнего) составлены Э. А. Цейтлиным.

вращательного движения не только не требует никакого специального объяснения, но, напротив, прямолинейно-равномерные движения рассматриваются в качестве движений исключительных, требующих особых условий.

К стр. 224. Даннеман и здесь под „механическим объяснением природы“ понимает объяснение материалистическое. О неправильности этого отождествления см. прим. к стр. 114. Что касается „объяснения взаимодействия между душой и материей“ (т. е. материей и мышлением), то ясно, что на путях кантовского противопоставления материи и мышления, как двух независимых субстанций, разрешить эту проблему невозможно. О том решении, которое дает диалектический материализм, см. Ленин, Материализм и эмпириокритицизм, Сочинения, т. XIII.

К стр. 278. В эти слова Даннеман вкладывает тот смысл, что ложная гипотеза магнитной жидкости, как это ни странно, не повлияла на правильность результатов исследований Гаусса. Подобные рассуждения довольно часты у буржуазных историков; приводя аналогичные факты, они рассчитывают вызвать у читателя удивление перед гениальностью ученого, прозорливости которого не мешает даже уровень современной ему науки. Однако удивляться здесь нечему, если учесть, что авторы подобных рассуждений исходят из неправильного противопоставления ложности и истинности познания. Как учит диалектический материализм, каждая ступень нашего познания относительна: она в некоторой приближенной степени отражает объективные процессы природы, — именно поэтому возможно движение познания вперед, при котором данная ступень познания становится отправным пунктом. Поэтому мы не можем абсолютно отрицать значения физических гипотез, оставленных в дальнейшем ходе развития, и трактовать их как абсолютно ненужные в развитии физики и даже вредные. Однако такие гипотезы могут не мешать движению познания только до известных пределов, после чего они вынуждены уже уступать место новым гипотезам. Так, оставленная впоследствии теория теплорода, чуждая в своей основе принципу сохранения и превращения энергии, не только не помешала Карно открыть законы циклических процессов в тепловых машинах, но именно от нее и отправлялся Карно в своих исследованиях. Но та же гипотеза встала в противоречие с развитием физики и стала тормозом его после открытия механического эквивалента теплоты.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абель Нильс Генрих** (Abel Niels Henrik) 119, 123, 127
Август 114
Авогадро (Avogadro) 259
Адаyson Михаил (Adanson) 313, 314
Алибер (Alibert) 173
Альхазен 14
Амичи (Amici) 91
Амонтон (Amonton) 52, 53
Ампер Андре-Мари (Ampère) 118, 206—212, 215, 216, 265, 294
Аполлоний 121
Араго Доминик Франсуа Жан 205, 213, 214, 248, 255, 263, 311
Аристотель 13, 14, 70, 73, 74, 97, 152, 289, 336, 340
д'Арлянд (d'Arlandes) 254
Arneth 122
Архимед 13

Балар (Balard) 262, 265
Бартельс 122
Бекк (Böckh) 126
Беккариа (Beccaria) 30
Бенкс (Banks) 183, 320
Бенценберг Иоган Фридрих (Benzenberg Johann Friedrich) 234, 235
фон-Бер Карл Эрнст (von-Baer Karl Ernst) 344, 346
Берггауз Г. (Berghaus G.) 283, 234
Бергман Товерн (Bergman) 35, 131, 133, 136, 138—141, 154, 304, 306
Беренс (Behrens) 187, 188
Börnstein В. 52
Берндт (Berndt) 47
Бернулли Даниил (Bernoulli) 55, 114, 206, 237, 272
Бертолле Клод Луи (Berthollet) 116, 140, 152, 160, 254, 256, 258, 264, 328
Берцелиус Иоганн Яков 129, 160, 164, 167, 170, 198, 199, 201, 234, 263, 264, 305—308, 310, 311
Böttiger 290
Биберштейн (Bieberstein) 234
Био (Biot) 255
Благден Чарльз (Blagden) 63, 65

Блек Джозеф (Black) 55—60, 81, 131
Блуменбах (Blumenbach) 72, 289, 338, 339
Бобине (Bobinet) 207, 208
Бозе (Bose) 22
Бойль 129, 140, 145, 148, 152, 238, 260
Болиаи (Bolyai) 123
Бонне 99
Бонплан (Bonpland) 292, 293
Борелли 49, 108
Bossscha J. 43
Брадлей 235
Брандес (Brandes Heinrich-Wilhelm) 234
Бредли (Bradley) 82
Брианшоу 120, 121
Бруно Джордано 14
Брунс (Bruhns) 289, 290, 295, 296, 300
Брюкке Эрнст (Brucke) 78
Буйс Баллот (Buys Ballot) 288
Бунзен (Bunsen) 149, 190, 191, 276
Бурбоны 116
Бургав 107, 110
Буссенго (Boussingault) 208
фон-Бух Леопольд (von-Buch) 258, 290, 301, 302, 343
фон-Бэр К. Э. 97, 110
Бюффон 103 221, 333, 334

Вайнштейн Б. (Weinstein) 267
Вангерин А. 124, 272, 275, 282
Валансьен 295
von-Waltershausen Sartorius 285
Вашингтон 30
Вебер Вильгельм 211, 276, 279, 280
Вебер Г. 271
Вебер Э. Г. (Weber) 109
Веджвуд (Wedgwood) 53
Вейсс (Weiss) 305
фон-Веллер (Wöhler) 119, 149, 167, 168, 198, 202
Венцель Карл Фридрих (Wenzel) 113, 160
Вернер 290, 301, 304, 306, 342, 343
Веструмб (Westrumb) 158
Видеман Э. 14, 41, 48, 224, 249
Вилейтнер Г. 122
Вилер А. 325
Вильденов Карл Людвиг (Willdenow) 289, 297, 298

- Вильке Иоанн Карл (Wilke) 33, 55,
 179, 180
 Вильсон (Wilson) 22
 Винклер (Winkler) 26
 да-Винчи Леонардо 54, 115
 Wirchow R. 110
 Виснер И. (Wiesner J.) 324
 Виттинг А. (Witting) 127
 Витрувий 114
 Воластон Александр (Wollaston) 165,
 166, 245, 304
 Вольта Александр (Volta Alessandro)
 170, 176, 184, 186, 189, 192,
 194, 255, 258
 Вольф Христиан (Wolf) 48, 70, 74,
 112, 113
 Вольф Каспар Фридрих (Wolff) 103,
 107, 110, 318, 344

 Гаазе (Haaze) 269
 Гаак Вильгельм (Haacke) 345
 Галилей 4, 18, 48, 52, 114, 152, 229
 Галлей (Halley) 48, 49, 232, 287, 288
 фон-Галлер Альбрехт (Haller) 103,
 107—110
 Гальвани Алоизио 170, 172—177, 186,
 192
 Гамильтон (Hamilton) 249
 Ган (Hahn) 133
 Hankel 122
 Гансен (Hansen) 319
 Гарвей 75, 346
 Гаузен (Hausen) 22
 Гаук В. Ф. (Hauck) 191
 Гаукоби Франсис (Hawksbee) 17, 18,
 21, 22
 Гаусс Карл Фридрих 122, 123, 126—
 128, 224—271, 273—286, 289
 Гаусснер Г. (Haußner) 115
 Гауи (Hauy) 304—306
 Гегельс (Hegels) 238
 Гей-Люссак Луи Жозеф 53, 129, 154,
 158, 204, 213, 243, 254—266,
 288, 294, 307, 333
 Heller 208, 210
 Гельмгольц (von Helmholtz H.) 223, 241,
 244, 247, 249, 285
 ван-Гельмонт 74, 129, 143
 Гельс Стефан (Hales) 60, 70, 73—81,
 130, 136, 322, 323
 Генри Вильям (Henry) 259
 Гентер Джон (Hunter) 34
 Георг III 223
 Гепель А. (Göpel) 127
 фон-Герике Отто 17, 19, 21, 22, 37,
 81, 145
 Gerlen 23, 53
 Герлянд (Gerland Ernst) 53
 Герон Александрийский 42
 Гертнер Иосиф (Gärtner) 314, 315
 Герц (Herz) 36

 Гете 107, 204, 290—292, 296, 318, 319
 333, 343
 Геттон (Hutton) 340
 Гершель Джон 229
 Гершель Каролина 225
 Гершель Фридрих Вильгельм (Herschel)
 218, 223—231, 236, 245, 253
 Гибель К. Г. (Gibel C. G.) 340
 Гильберт 17, 202
 Гиртль (Hirtl) 344
 Гирш (Hirsch) 108, 109
 Глаубер 139
 Гледич (Gleiditsch) 70, 83, 297, 318
 Гмелин (Gmelin) 289
 Howard 234
 Норре 193
 ван-Гофф (van't Hoff) 166
 Hoffmann A. W. 151, 310
 де-Грааф (de Graaf) 345
 Гралат (Gralatt) 21, 22
 Грей Стефан (Grey) 19
 Грин Джорж (Green G.) 31, 41, 180,
 272—275
 Гризебах (Griesebach) 295
 Грове 190, 191
 Гротгусс (Grothuss) 195
 Груммерт (Grummert) 23
 Грю 70, 77, 80, 104
 Гук 48, 237, 246
 Гульд 54
 Гульемини (J. Bart. Guglielmini) 225
 фон-Гумбольдт Александр (Humboldt A.) 119, 192—194, 218, 257,
 258, 276—278, 287—303, 310,
 342, 343
 фон-Гумбольдт Вильгельм 289—291
 Гюйгенс 15, 24, 42, 43, 112, 219, 227,
 246, 247, 297, 311
 Гюльчер (Hülcher) 217

 Даламбер 29, 268^r
 Дальтон Джон (Dalton J.) 113, 129,
 157, 161—165, 168—170, 242,
 259, 260, 266
 Даниель (Daniel) 190, 191
 Dannemann 17, 19, 26, 35, 103, 154,
 202, 232, 318, 339
 Darwin Erasmus 242
 Darwin G. H. 223
 Дарвин Чарльз 73, 91
 Деберайнер (Döbereiner) 262
 Дезарг (Desargues) 117
 Декандоль Альфан (Decandolle) 316
 Декарт 26, 114, 117
 Делаббр (Delambre) 206
 Де-ла-Рив (De-la-Rive) 200
 Деллингер (Döllinger) 344, 345
 Делюк (Deluc) 56
 Джоуль 240, 241, 244, 249
 Джонсон (Johnson) 321
 Дилленнус 84

- Дирихле (Dirichlet) 286
 Дове (Dove) 287, 295
 Дорн Э. 277
 Дэви Гемфри (Davy Humphry) 24,
 * 154, 158, 193—202, 240, 241,
 252, 264—266
 Дюбуа Реймон Эмиль 173, 176
 Дюма (Dumas) 346
 Дюлер (Düker) 115
 Дюфай Шарль Франсуа (Du Fay) 18, 19
 де-Жюссье Антуан Лоран (Jussieu) 314,
 315, 317
 де-Жюссье Бернар 70, 292, 313, 314, 318

Замбони (Zamboni) 187, 188
 Зибек Томас Иоганн (Seebeck) 204—206,
 212, 213, 215—217
 Зильбершлаг 232
 Зиммер (Symmer) 25
 Зольднер (Soldner) 281
 Зульцер Иоганн Георг (Sulzer) 171,
 172, 177

Ибн-аль-Гайтам (Ibn-al-Haitam) 14
 Иегер (Jäger Ernst) 43
 Ингенгус (Ingen-Hous) 81, 324, 325, 328

Кавендиш (Cavendish) 40, 41, 131, 150
 151, 159, 256
 Cahen E. 194
 Кальбаум Г. В. (Kahlbaum) 131, 151,
 167, 201
 Камерарий 68, 82—84, 90, 107,
 Кампер Петер (Camper) 339
 Кант Иммануил 221—223, 228, 231
 Кантор 122
 Карл Евгений, герцог 334
 Карлейль Антоний (Carlisle) 192—194
 Карно Сади (Carnot) 244, 249—252
 Карус (Carus) 295
 Касини (Cassini) 227
 Кельройтер И. Г. (Kölreuter I. G.)
 82—90, 103, 314
 König Walter 37
 Кеплер 14, 109, 114, 224,
 Кестнер (Kästner) 29
 Кинмайер (Kienmayer) 22
 Киннерсли (Kinnersley) 27
 Кирхгоф А. (Kirchhoff) 114, 276, 318
 Клапейрон Э. (Clapeyron) 252
 Клапрот Мартини Генрих (Klaproth)
 306, 307, 309—311
 Клаузиус 252
 Kleinenberg N. 98
 фон-Клейст (Kleist) 20, 21
 Клеро 125
 Клиффорд (Clifford) 67
 Кобелль (Kobell) 306
 Ковалевский Г. 125
 Коллинсон (Collinson) 25

 Корр 261
 Коши Огюстен (Cauchy) 125, 126, 249
 Крамер (Cramer) 270
 Крелль (Crelle) 119, 123, 124
 Крювелье (Cruveilhier) 109
 Кузанский Николай 54
 Кук 289
 Куллен В. (Cullen W.) 58
 Кулон Шарль Огюстен 36—41, 210,
 272, 278
 Куммер (Kummer) 285
 Кунеус (Cunaeus) 20
 Кювье Жорж (Cuvier) 294, 295, 333—342
 Кюньо (Cugnot) 47

Лавуазье Антуан Лоран (Lavoisier A. L.)
 30, 56, 60—63, 81, 129, 130, 136,
 141, 143—153, 159, 170, 196,
 237, 238, 255, 263, 264, 286,
 294, 310, 332
 Лагранж 114, 123, 125—127, 206, 268
 270, 272, 282, 286
 Ламберт (Lambert) 52—54, 222, 282
 Лаплас Пьер Симон (Laplace P. S.) 60,
 61, 63, 112, 113, 126, 128, 133,
 152, 218—221, 224, 236, 270—273,
 286, 294
 Левенгук 84, 98—100
 Леви А. (Loewy) 124
 Ледермюллер (Leder Müller) 91, 99—101
 Лежандр (Legendre) 118, 126—128, 270
 Лежен Дирихле Густав Петер (Lejeune
 Dirichlet) 127, 128
 Лейбниц 42, 74, 82, 104, 107, 112, 114
 270, 289
 Леканше 191
 Лемонье (Le Monnier) 23, 30
 Либеркюне (Lieberkühn) 20, 110, 111
 Либих 149, 328
 Либманн Г. (Liebmann) 123
 фон-Линней Карл (Linné) 52, 66—72,
 83, 87, 97, 103, 140, 304, 313,
 314, 334, 336, 338
 Липпман О. Ф. 29, 136, 146, 147, 152,
 224, 241, 243, 291, 319, 324,
 328, 333, 340
 Лихтенберг 29, 289
 Ллойд (Lloyd) 249
 Лобачевский 122, 123
 Ломоносов 56, 113
 Ляйелль (Lyell) 302

Магнус (Magnus) 52, 167
 Майер Роберт 243, 247, 249
 Майер Тобиас 219, 241
 Майов Джон 56, 143, 145
 Максвелл (Maxwell) 36
 Мальпиги 70, 73, 104, 108
 Мальфатти (Malfatti) 119
 Малюс Этьен Луи (Malus) 247, 248
 Мариотт (Mariotte) 59, 73, 74, 109, 252, 260

- Матчос Карл (Matschoss) 44, 45
 Mach E. 49, 56, 58, 60, 250
 Мебнус М. (Möbius) 206
 Медичи 14
 Меуер 332
 Meyer K. 48, 95,
 Мейер Лотар 262
 фон-Мейснер К. 316
 Меккель Иоганн Фридрих (старший)
 110, 111, 335, 344
 Меккель Иоганн Фридрих (младший) 111
 Меллони (Melloni) 217
 Менделеев 262
 Менехм 121
 Мессье (Messier) 228, 229
 Мирабо 30
 Митчерлих Эйльгард (Mitscherlich) 149,
 167, 306—310
 Момбер А. (Momber A.) 50
 Монгольфье 254
 Монж Гаспар 114—118, 247
 Морганья (Morgagni) 110
 Муассан (Moissan) 265
 Мушенбрэк (Musschenbroeck) 20, 53
 Мюллер Иоганнес (Müller) 67, 108, 155
 Мюллер Фридрих Иоганн 281
- Найт** Томас Эндрю (Knight) 320—324
 Наполеон 116, 118, 153, 187, 201, 219,
 238, 247, 260, 266, 335
 Науман 305
 Нетто Э. (Netto E.) 268
 Нидгем (Needham) 99
 Никольсон Вильям (Nicholson) 186,
 193, 194,
 Ниоде (Niandet) 191
 Нобили (Nobile) 216
 Норденшильд (Nordenskjöld) 133
 Ноэ (Noë) 217
 Ньюкомен (Newcomen) 44, 45
 Ньютон 15, 75, 112—114, 124, 128,
 218, 220, 226—235, 242, 246, 247,
 263, 271, 272, 277, 289, 297, 341
- Окен** (Oken) 338
 Ольберс (Olbers) 224
 Ом (Ohm) 186, 190
- Паллас** (Pallas) 99, 231—233
 Пандер Христиан Генрих (Pander)
 344—346
 Папин Денис 42, 44
 Пейссонель (Peyssonnel) 17
 Pélitot 310
 Паскаль 117, 120, 121, 125
 Пастер (Pasteur) 103, 263
 Perthes J. 294
 Песталоцци 119
 Пешель 295
 Пикар (Picard) 17
- Пикте (Pictet) 59
 Планте 189
 Платон 13.
 Плюккер 122
 Поггендорф (Poggendorff) 203, 204, 252
 Понселе Жан Виктор (Poncelet) 117—119
 Порта 42
 Праут (Prout) 166, 167, 170
 Прево (Prevost) 346
 Пристли Джозеф (Priestley) 30, 81
 129—133, 135—143, 145—147,
 149—151, 194, 255, 324
 Пруст Жозеф Луи (Proust) 157, 159, 162
 Пуассон 273
 Пуйе (Pouillet) 203
 Пуркинье И. К. (Purkinje) 345
 Пфафф И. В. (Pfaff) 125
 Пфафф, Иоган Фридрих (Pfaff) 229
 Пьяцци (Piazzi) 224, 269
- Райт** (Wright) 222
 Райх (Reich) 235
 Рамзай (Ramsay) 131
 Ратке (Rathke) 346
 Рауль (Raoult) 65
 Раух (Rauch) 257
 Рей Джон (Rey) 68, 97
 Рей Жан (Rey) 145, 317
 Реймарус (Reimarus) 29
 Релей (Rayleigh) 131
 Ремер (Remer) 316
 Ренальдини 48
 Реньо (Regnault) 52, 59, 63
 Реомюр (Réaumur) 50—52, 101
 Репер (Röper) 330
 Рiemann Б. (Riemann) 123, 128, 286
 Riemann-Hattendorff 274
 Рисс (Riess) 187
 Риттер Иоганн Вильгельм 182, 185—189,
 191, 194, 245
 Риттер Карл (Ritter) 292
 Рихман (Richmann) 30
 Рихтер Иеремия Вениамин (Richter)
 113, 160, 161, 167, 169
 Риччиоли (Riccioli) 235
 Рише (Richer) 33
 Ребер (Robert) 254
 Розе Генрих (Rose) 167, 234, 295,
 308, 309
 Розе Густав (Rose) 167, 241, 242
 Розенгайн (Rosenhain) 127
 Розенгоф (Rosenhof) 101
 де-Розье Пилятр (Pilâtre du Rozier) 254
 де-Рома (de Romas) 30
 Ромпель (Rompel) 52
 Рудбек (Rudbeck) 66
 Румфорд Вениамин Томпсон 24, 238—
 241, 252
 Руссо Ж. Ж. 206
 фон-Розель (Rösel) 101, 102

- Сакс (Sachs) 89, 91, 94, 317
 Сваммердам 101, 102, 110
 Севери (Savery) 44
 Сенебье (Senebier) 316, 324, 325
 Сент-Илер Жофруа (Saint-Hilaire Geof-
 froy) 333, 337
 Сименс 191
 Смит 225
 де-Соссюр Николай Теодор (de Saus-
 sure Théodore) 40, 54, 55, 81,
 325—329
 де-Соссюр Орас Бенедикт (de Saussure)
 288, 325
 Спалланцани (Spallanzani) 89, 99, 103
 Стефенсон (Stephenson) 47
 Страбон 302
 Тенар (Thenard) 158, 261
 Томсон В. 274
 Торвальдсен (Thorwaldsen) 257
 Торичелли 145
 Тодгентер Дж. 272
 Тревиранус (Treviranus) 331
 Träumüller 23, 53
 Тремблей (Trembley) 97—99, 101
 ван-Труствик (van-Troostwik) 30—32
 Уатт-Джемс (Watt) 45—48, 58, 240, 252
 Уолл (Wall) 17, 25
 Уольш (Walsch) 34
 Уотсон (Watson) 22, 23
 Фарадей (Faraday) 33, 36, 41, 182,
 195, 204, 214, 217
 Фаренгейт (Fahrenheit Daniel Gabriel)
 49, 50, 52, 64, 241
 Фердинанд, Брауншвейгский герцог 268
 Фишер (Fischer J. C.) 24, 30—32, 34,
 49, 59, 192
 Флорип (Florlep) 335
 Фонтана (Fontana) 99, 255
 Fontenelle 70
 Фосс Леопольд (Voss) 207
 Форстер Георг (Forster) 289, 290
 Франклин Вениамин (Franklin) 18, 20,
 21, 24—29
 Франчески (Franceschi) 115
 Фраунгофер (Fraunhofer) 245, 249
 Френель Огюстен Жан (Fresnel) 248, 249
 Фридрих Великий 83, 112, 140, 153
 Фриз Р. Е. 68
 Фриз Т. М. 68
 Фришауф С. (Frischauf S.) 283
 Фуко (Foucault) 249
 Фукс (Fucks) 307
 Фультон (Fulton) 47
 Фуркруа (Fourcroy) 158
 Фурье Жан Баптист Жозеф 118, 124,
 128, 266, 267
 Цельсий Андерс 51—53, 267, 343
 Цезальмин 68, 108
 Хладни (Chladni) 232—234
 Шарль (Charles) 254
 Шванн (Schwann) 105, 346
 Швейгер (Schweigger) 203, 204, 307
 Шееле Карл Вильгельм 81, 129, 131,
 133—138, 143, 147, 149, 151,
 157, 245, 258, 262, 304
 Шейнбейн (Schönbein) 190
 Шиллер 290, 291
 Шлоссер (Schlosser) 307
 Шпренгель Христиан Конрад (Sprengel)
 73, 82, 89, 96, 314, 318
 Шпрингер 45
 Шредер 226
 Шталь (Stahl) 60, 129, 310
 Штейнер Яков (Steiner Jacob) 117,
 119—121, 123
 Штеккель П. (Stäckel) 270
 Штолцле Ремигиус (Stölzle Remigius) 345
 Штиллер (Stiller) 294
 Штурм Шарль 124
 Шульце И. Г. (Schulze) 138
 Шуммахер (Schumacher) 281
 Эйлер (Euler) 24—26, 56, 104, 114, 123,
 125, 126, 206, 219, 237, 268, 269
 Эллис (Ellis Georg) 238, 241
 Эпинус Франц-Ульрих-Теодор (Aepi-
 nus) 18, 32, 35, 36, 180
 Эренберг (Ehrenberg) 295
 Эрман Пауль (Erman) 188
 Эрнауф (Ernouf) 43
 Эрнст А. (Ernst A.) 45
 Эрстед Ханс Христиан 202, 203, 206,
 209, 215
 Эттинген А. (Oettingen J. A. v.) 50,
 63, 177, 183, 202, 222, 272
 Юнг Томас (Joung) 33, 240, 246—249
 Якоби Карл Густав Яков 119, 126, 127
 Jacobi Max 222, 270, 286

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абелевы уравнения** 124
Абсолютная система мер 278, 279
Абсолютная неизменность природы II
Азотная кислота 154
Академия опытов 14
Акустика 242
Алгебра 123, 124
Амеба 102
Америка 30
Аммиак 131, 154
Ампера правило 207
Анализ минералов 306 и след.
Анализ химический 131 и след., 140, 141
Аналитическая геометрия 122
Анаплотерий 342
Анатомия 107 и след., 294, 333 и след.
Анатомия растений 104
Антициклон 289
Антропология 71, 338
Арабская культура 14
Артерии 109
Ассимиляция 324 и след.
Астатическая стрелка 212
Астрономия 14, 218 и след., 269
Астрономические инструменты 225 и след.
Атлас земного магнетизма 277
Атмосфера 254, 255
Атмосферное электричество 26, 27, 30
Атомистическая гипотеза 159 и след., 259
Атомные веса 164, 166, 168, 259, 308
Атомистически-механический метод 112
- Белые пятна Марса** 226
Бесконечные ряды 125
Бином Ньютона 123
Бифилярный магнитометр 277
Ботаника 66 и след., 83, 294, 297 и след., 313 и след.
Брожение 151, 263
Буйе Баллота закон 288
Буржуазия I, II, III и след.
- Вековые поднятия и опускания суши** 343
Весы Кулона 37
„Викарирование“ 307
Вода 30, 31, 143, 144, 151
Водород 30, 31, 130
- Воздух** 133, 134, 137, 146 и след.
Воздушный термометр 52
Воздушный шар 254, 255
Волновая теория света 246, 247, 248, 249
Волосной гигрометр 56
Вольтов ряд 178
Вольтов столб 183
Вращение земли 235
Всасывание жидкости корнями растений 76
Вселенная 224
Вулканизм 301, 302, 303
Высшая алгебра 268
Вьющиеся растения 322
- Газы** 131, 147, 259
Галоиды 261, 264, 265
Гальванизм 171 и след.
Гальванические элементы 189, 190
Гей-Люссака закон 256, 257
Гелиотроп 283, 284
Гелиотропизм 323
География 292 и след.
География растений 297 и след.
Геодезические линии 282, 283
Геодезические треугольники 282, 283
Геодезия 281
Геология 301, 302, 342, 343
Геометрия 118, 119 и след.
Геотропизм 320 и след.
Геофизика 287 и след.
Гибридизация растений 85 и след.
Гигрометр 56
Гигрометрия 53 и след.
Гидромеханика 118
Гидротропизм 321
Глаз и зрение 108, 109
Глицерин 137
Гониметр 309
Горение 59 и след., 129, 133, 134, 146 и след.
Гортань и речь 110
Графовы пузырьки 345
Громоотвод 27, 28, 29
- Двойная номенклатура** 71
Двойные звезды 228
Двудольные 315
Деварга теорема 117

- Действие земного магнетизма на ток 208
 Деполяризация 190
 Детерминанты 270
 Дифференциальное и интегральное исчисление 124
 Дифференциальные уравнения 125
 Диморфизм 308
 Дифракция 248
 Диффузия 260
 Дихогамия 89, 95
 Дуалистическая и унитарная гипотезы 25
 Дыхание 61, 62, 150 и след.
 Дыхание растений 324, 328, 329

 Естественная система 70 и след., 313 и след.
 Естествознание современное I, II и след.

Железо 141, 142
 Животное электричество 33, 34

 Закон Буйс-Баллота 288
 Закон Гей-Люссака 256, 257
 Закон кратных отношений 161, 162, 165, 169, 170
 Закон объемных отношений 253
 Закон постоянства весовых отношений 159
 Закон тяготения 218 и след., 271
 Затухание 205, 206
 Звезды 222, 228, 229
 Землетрясения 293, 302, 303
 Земной магнетизм 208, 211 и след. 276 и след.
 Знание и вера 14, 15
 Зодиакальный свет 223
 Зоология 70, 71, 97 и след. 294, 300, 333 и след.
 Зоофиты 97, 330

Изаномальные линии 288
 Изоляторы 19, 20
 Изоморфизм 307, 308
 Изорахии 220
 Изотермы 287
 Изотеры 287
 Изохимены 288
 Индукция 36, 214, 274
 Интегрирование дифференциальных уравнений с частными производными 125
 Интерференция 248
 Инфракрасные лучи 253
 Инфузории 99, 100 и след.
 Иод 261, 264, 265
 Ионы 195
 Искусственная система 65 и след.
 Испарение растений 75
 Исследование газов 131

Калий 196, 197, 198
 Калориметр 62
 Канто-лапласовская гипотеза 220 и след.
 Капиллярность 271
 Катастроф теория 340 и след.
 Качественный анализ 140, 141
 Килограммометр 119
 Кинетическая теория газов 237
 Кислород 131, 133, 134, 135, 147, 193
 Кислечник 104, 110, 111
 Кислоты 156, 157, 161
 Классификация животных 337
 Клеточное строение 104 и след.
 Климатология 287
 Количественный анализ 141
 Кольца Сатурна 221, 223
 Комбинаторика 125
 Компас 37
 Конденсатор 179, 180
 Конические сечения 121
 Контактное электричество 171, 172, 180
 Конформное отображение 282
 Корни растений 76, 320
 Корреляция органов 334 и след. 341, 342
 Корпускулярная теория 113
 Коэффициент расширения тел 63
 Кратных отношений закон 161, 162, 165, 169, 170
 Кривизна поверхности 282
 Криптогамные 103
 Кристаллография 304, 305
 Кровообращение 109
 Кровяное давление 78, 80
 Круговой процесс Карно 250, 251, 252
 Крутильные весы 37, 38 и след.
 Кулона закон 39

Лейденская банка 20, 21 и след.
 Линнеевская классификация растений 67, 68
 Логарифмы 284
 Локомотив 46
 Луна 223
 Лучистая теплота 59

Магнетизм 202 и след., 278, 279, 280
 Магнитная обсерватория 276, 280
 Магнитное действие тока 206
 Магнитное поле 205
 Магнитометр 280
 Магнитный союз 276
 Марс 226
 Математика и естествознание 112 и след. 266 и след., 285, 286
 Математика и искусство 114
 Математическая физика 127, 128
 Математический журнал 119
 Материализм II, III и след.
 Медицина 107 и след.
 Метаморфоза растений 318, 31

- Метеориты** 231, 232
Метеорология 287, 288, 289
Механическая теория теплоты 237 и след.
Механический эквивалент тепла 240
Механическое объяснение 113, 223
Минералогическая химия 310, 311
Минералогия 304, и след.
Мирмекофилия 96
Млечный путь 228 и след.
Множественные периодические функции 127
Молния 26
Морфология растений 314 и след.
Мочевая кислота 137
Мультипликатор 203, 204
Муссоны и пассаты 288
- Наименьших квадратов способ** 269, 270
Насекомые 82, 88 и след. 101, 337
Натрий 196, 197, 198
Натурфилософия VI
Наука и религия 15
Научные экспедиции 292, 293
Начертательная геометрия 115, 116
Небесная механика 218 и след., 272
Небесные светила 233
Невесомые жидкости 24
Неподвижные звезды 227, 228 и след.
Нервы 101, 108
Невклидова геометрия 122
Низшие животные 97 и след.
Ньюкомена машина 44, 45
Ньютона закон 15, 218 и след.
- Обмен газов в растениях** 79, 80
Объем смеси 50
Одиодольные 315
Ома закон 187
Омега 90
Окислительная способность 149, 150
Описательное естествознание 65 и след.
Оплодотворение 82 и след., 103
Оптика 245 и след.
Оптические свойства минералов 311
Опыление растений 84, 85
Органическая химия 136, 137, 151, 262, 263
Отклонение падающих тел 235
Охлаждение земли 267
Ощущение 109, 177
- Палеонтология** 333 и след.
Палеотерий 342
Папина котел 42
Папина машина 43
Паровая железная дорога 40
Паровой экипаж 46, 47
Пароход 46
Пассаты и муссоны 288
Первый математический журнал 119
- Перекрестное опыление** 95
Переохлажденные жидкости 56, 63
Перспектива 115
Питание растений 73 и след., 323 и след.
Плавление металла электричеством 27
Пировольфрам 35
Питание растений 72 и след., 79 и след.
Планетоиды 224, 269
Планеты 224, 226
Плач деревьев 77
Поверхности уровня 276
Поверхность легких 80
Полипы 98
Политехническая школа 219
Половая теория 82 и след., 318
Положительное и отрицательное электричество 19
Поляризация гальванических элементов 188
Поляризация света 247
Понижение точки замерзания 63
Пороховая машина 43
Потенциал 270 и след.
Правило Ампера 207
Праута гипотеза 166 и след.
Преобразование форм движения
Приливы и отливы 220
Принцип сохранения вещества 152
Принцип сохранения энергии 16, 241
Притяжение токов 209, 210
Проблема трех тел 219
Проводники 19, 36
Проективная геометрия 117, 118
Происхождение вселенной 220 и след.
Пространственное расположение атомов 165
- Развитие дышленка из яйца** 344, 345
Раздражение и ощущение 109
Растворимость газов 259
Расы 339
Революция промышленная III и след.
Революция французская VII и след.
Регенерация 97, 99
Решение уравнений 123, 124
Род напряжений 33, 181, 182
- Самоопыление** 93
Самопроизвольное зарождение 103
Сатурна кольца 221, 223
Светильный газ 80
Световое действие электричества 200
Северная машина 44
Семена 82 и след., 314, 321
Сейсмология 289
Серная кислота 131, 262
Силикаты 136
Силовая функция 273
Силовые линии 205, 206, 276
Синильная кислота 137, 154, 262, 264

- Синтез минералов 309
 Синтетическая геометрия 117
 Система мер и весов 219
 Система элементов 262
 Систематика растений 66, 316
 Скорость распространения электричества 23
 Скрытая теплота 56
 Соленоид 211
 Соли 64, 326
 Солнце 226 и след.
 Сопротивление материалов 37
 Спектр 245
 Сравнительная анатомия 336
 Стеклоаное и смоляное электричество 18, 19
 Стехиометрия 113, 160
 Суммирование рядов 125
 Сухой столбик 187, 188
 "Существенная сила" 105, 106
 Сферическая тригонометрия 282
 Таблицы логарифмов 284
 Тайнобрачные 103, 314, 317, 318
 Телескоп 225, 226
 Теорема Грина 274
 Теорема об эквивалентном переносе масс 277, 279
 Теории электричества 24, 27
 Теория возмущений 219
 Теория катастроф 340 и след.
 Теория поверхностей 282, 283
 Теория потенциала 270, 271, 275, 276
 Теория притяжения 271 и след.
 Теория чисел 127, 268
 Тепловое действие электричества 200
 Теплота 42 и след., 55, 137, 237, 249, 266, 267
 Теплота испарения 57
 Теплота плавления 57
 Теплота сгорания 63
 Термодинамика газов 242, 243
 Термометрия 47, 48 и след.
 Термомультипликатор 217
 Термоэлектричество 215, 216
 Термоэлемент 216, 217
 Техника 13
 Техническая химия 153
 Титан 311
 Трансформизм 319
 Туманности 228, 229
 Турмалин 35
 Тяготение 218 и след., 271
 Уатта машина 45, 46
 Углекислота 151
 Удельная теплоемкость 60, 62
 Ультрафиолетовые лучи 245
 Унитарная и дуалистическая гипотезы 25
 Уравнение Лапласа 272, 273
 Уран 224
 Уран 310
 Физиологическое действие тока 185
 Физиология 107 и след.
 Физиология растений 72 и след., 320 и след.
 Физическое миропонимание 296, 297
 Флогистон 132, 138, 151
 Форма минералов 306 и след.
 Фосфоресцирующее сияние в барометре 17
 Фотохимия 137
 Франклинова доска 21
 Химические символы 164
 Химические элементы 152
 Химическое действие света 137, 138, 245,
 Химическое действие электричества 30
 Химическое сродство 138, 139, 154 и след.
 199
 Химия 16, 129 и след., 152, 170, 260
 и след. 310, 311
 Хлор 157, 158, 261, 264, 265
 Цветы 90, 91
 Цика Карно 251
 Циклон 289
 Человек 338
 Эволюция 103 и след.
 Эксперимент 13
 Электрическая (вольтова) дуга 200
 Электрическая жидкость 21
 Электрическая машина 18, 21, 22
 Электрические измерения 36
 Электрический скат 33, 34
 Электрический угорь 33
 Электрическое притяжение и отталкивание 17
 Электрическое разложение воды 31
 Электрическое сияние в безвоздушном пространстве 23, 24
 Электричество 18, 131, 273, 274, 275
 Электричество трения 18
 Электродинамика 206, 212
 Электролиз 192—195
 Электролиз воды 192, 193
 Электромагнетизм 202 и след.
 Электрометр 177
 Электропроводность 19, 201
 Электроскоп 19, 187
 Электрофор 179
 Электрохимия 34, 192 и след.
 Эллиптические функции 126
 Эмбриология 107, 344, и след.
 Эмпиризм VI и след.
 Эпигенезис 110, 344
 Эфир 24, 247
 Явление Эрстеда 203
 Яйца млекопитающих 345

Изд. № 15. Ц. а. л. 24,5.

Сдано в набор 3/VI-35 г. Подписано к печати 28/XI-35 г. Бум. лист. 11¹/₄. Тираж 15000. Формат 62×94¹/₁₆.
Печ. ап. в бум. л. 99400. Закал № 3575 Гл. ред. общетехп. дисц. № 15. Уцелн. Главлита № В-32226.

2-я типография ОНТИ им. Евгения Соколовой. Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По вине
VII	4 св.	Океана	Окена	корр.
26	4 сн.	1849	1746	ред.
27	3 сн.	27/II	20/II	
32	2 сн.	Priesley	Priestley	корр.
36	3 сн.	Herz	Hertz	
49	16 св.	178°	176°	ред.
52	13 св.	Lambet) (1720	Lambert) (1728	
56	1 св.	тлеющий лед	тающий лед	тип.
90	1 св.	он	он ¹	ред.
90	20 св.	омелы	омелы ²	
91	10 сн.	Sachs, Geschichte der Botanik, стр. 448	Christian Konrad Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen, Berlin, 1723	
102	3 св.	Рэзем	Резель	корр.
119	5 св.	которого	которой	ред.
158	4 сн.	т. 4	т. 6	
161	1 сн.	1767	1766	
180	1 сн.	третьем	² В третьем	тип.
183	2 сн.	117-го	118-го	ред.
189	1 сн.	Silberts	Gilberts	тип.
202	19 сн.	магнетизма	электромагнетизма	ред.
213	22 сн.	22 октября	2 октября	
237	6 сн.	Rüdmann	Rühlmann	корр.
243	9 св.	BA	B	ред.
245	9 сн.	VI	VII	
251	6 св.	t ₂	t ₁	"
253	6 св.	Румфурд	Румфорд	корр.
256	22 св.	разных	равных	ред.
269	3 св.	1891	1801	
269	22 св.	датами	данными	
297	20 сн.	25 апреля	21 апреля	
314	23 св.	1838	1836	
329	1 сн.	стр. 216	стр. 316	
348	13 сн.	некоторой приближенной	приближенной	

