

*Дружба*

И. НОВИКОВ

КУДА ТЕЧЕТ  
РЕКА ВРЕМЕНИ?

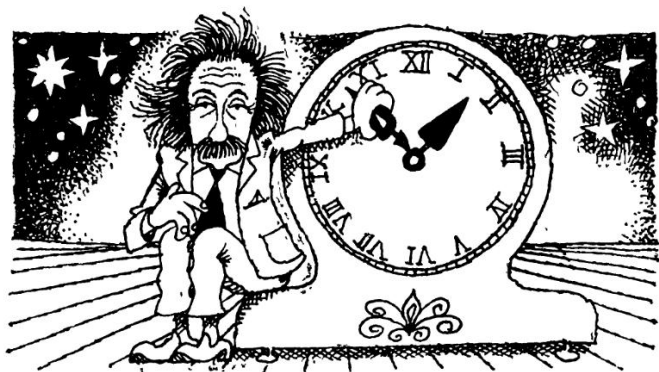


---

И. НОВИКОВ

---

# КУДА ТЕЧЕТ РЕКА ВРЕМЕНИ?



МОСКВА  
«МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ»  
1990



ББК 22.313  
Н 73

Н  $\frac{1604010000-094}{078(02)-90}$  240-90

© И. Д. Новиков,  
1990 г.

ISBN 5-235-00805-7

## ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

Своей судьбой я прежде всего обязан бабушке. Воспитывался я без родителей, и первые мои сознательные шаги в жизни связаны с ее заботами. Она достала мне интересную детскую книгу — «Похождения братца кролика», по которой я научился читать. Она же купила на рынке и первую популярную книгу, в которой рассказывалось детям о науке. Время было тяжелое, шла война, мы жили в эвакуации в городе Краснокамске на Волге. Прежде всего приходилось думать о еде, а не о книгах. Но бабушка, не имевшая никакого образования, все же чувствовала, наверное, что детям одинаково необходима пища и для желудка и для ума. Купленная (или вымененная?) ею на рынке книга оказалась удивительной и навсегда мне запомнилась. Это была «Детская энциклопедия» еще дореволюционного издания с прекрасными цветными иллюстрациями. Насколько мне помнится, качество этих иллюстраций далеко превосходило качество картинок, часто размазанных и блеклых, которые я вижу теперь в некоторых моих популярных книжках.

В той книге был раздел про астрономию. При первом же разглядывании картинок (а я, как и все дети, начинал знакомство с книгой именно с этого) меня поразило изображение гигантского огненного фонтана, а рядом помещался наш маленький земной шар. Потом я узнал, что это был нарисован солнечный протуберанец. Земля же была представлена для сравнения. Грандиозность изображения буквально потрясла меня. Я был поражен величием процессов, которые случаются в мире и которые намного превосходили все то, что могла нарисовать до этого моя детская фантазия.

По существу, эта картинка и явилась для меня роковой. Она была загадочна, непонятна и манила своей тайной. Я быстро прочел все про астрономию, а затем и другие разделы книги. Там были интересные главы о всемирной истории и о многом другом, но для меня уже ничто не могло сравниться с астрономией. Глубины пространства, вихри на Солнце и возможность жизни на Марсе навсегда приковали к себе мое любопытство, мое воображение и мою любовь. Я думаю, что таинственные явления Вселенной, собственно, и породили во мне все

эти чувства. Их я сохранил на всю жизнь. «Свет первой любви в каждом из нас».

Много чего есть в жизни, она многогранна и восхитительна, иногда ужасна. (Я жил с бабушкой, потому что мой отец, занимавший видный пост в Наркомате путей сообщения, был арестован в 1937 году и погиб, а мать тоже была сослана. После XX съезда КПСС они были полностью реабилитированы.) Но я не знал и не знаю теперь ничего более прекрасного, чем стремление постичь тайны Вселенной. И это не абстрактное стремление, не ленивые «философские» размышления о сути бытия (я быстро понял, что все это — глупости и часто просто проявление лени или самолюбования изгибами своей мысли), а тяжелая и радостная работа.

С тех ранних времен детства во мне постепенно крепло убеждение, что главное для развития ума и творческих способностей — это зажечь искру неудержимого любопытства перед таинствами природы. Настоящее любопытство поведет дальше, заставит и искать, и работать, даже если человек не станет ученым.

Потом я прочел много популярных книг. Надо сказать, что тогда их было несравненно меньше, чем сейчас, но... большинство из них были хорошими! Я быстро понял, что для реальной работы в науке надо очень, очень много знать. Огонь любопытства горел во мне, и уже ничто, конечно, меня не могло остановить. Более того — учеба и решение задач, преодоление этих маленьких, но все возрастающих препятствий приносили и все возрастающее наслаждение.

Зачем я все это рассказываю?

Для того, чтобы на собственном примере пояснить две мысли. Во-первых, очень важно возбудить у человека истинное научное любопытство, которое станет в дальнейшем движущей силой. Не столь существенно, будет ли человек ученым. Любовь к науке, знание ее основ, восхищение глубочайшими тайнами, раскрываемыми ею, столь же необходимо всем людям, как общекультурное и эстетическое воспитание. Современный человек не может обходиться без музыки, без картин, без художественной литературы. Так же невозможна для него жизнь без сопереживания достижениям науки, дающей ответы на самые глубокие «как» и «почему», которые мы задаем природе. Известный советский физик В. Гинзбург писал о теории относительности — одной из наи-

более совершенных физических теорий современности, что она вызывает «...чувство... родственное тому, которое испытывают, глядя на самые выдающиеся шедевры живописи, скульптуры или архитектуры».

Приведем еще слова известного советского философа Б. Кузнецова о древнегреческом искусстве и науке как о единых элементах человеческой культуры: «...речь идет... о продолжающейся жизни, о новых впечатлениях, чувствах и мыслях, которые внушали и внушают Венера Милосская или Ника Самофракийская. Аналогичным образом мы ощущаем бессмертные диалоги Платона или «Физики Аристотеля».

Во-вторых, для того чтобы стать физиком или астрономом и чтобы действительно участвовать в научном процессе, надо овладеть всей совокупностью знаний в избранной области. Никакое любительство здесь недопустимо. Современная наука невероятно сложна, и ее математический арсенал столь абстрактен, что непосвященный не может даже вообразить степень сложности всего этого. Для реальной научной работы этим арсеналом надо владеть. Надо глубоко знать современную математику и другие смежные науки. Только такие знания позволят по-настоящему проникать в суть того, что изучает физика и астрономия.

В силу многих причин это доступно не всякому. Не каждый становится физиком, многие владеют математикой лишь в рамках курса средней школы. Так что же, для них навсегда закрыта возможность любоваться удивительными достижениями физики? Невозможно узнать о науке, раскрывающей тайны глубинной структуры материи и фантастические способы взаимодействия элементарных частиц, о науке, открывающей кванты времени и пространства?

Конечно же, это не так, и можно доступно и точно рассказать о достижениях физики любому интересующемуся, не прибегая даже к арифметике. Но для этого не надо стремиться объяснять все детали и трудности расчетов и логические связи, ведущие к заключению. Необходимо поступить иначе — надо попытаться создать яркий образ того или иного явления, заставить почувствовать то, что делают физики. Эти образы можно понимать без всякой математики, ими можно по-настоящему любоваться и восхищаться. Только, если вы не профессионал физик, не надо тешить себя иллюзиями, что, прочитав популярную книжку, вы мо-

жете предложить «гипотезу», решающую трудности, о которых в книге говорится. Ничего хорошего из этого, конечно, не выйдет. Образ — это еще не сама физика. Как уже сказано, для создания дельных гипотез надо стать профессионалом. Но наслаждаться образами, созданными профессионалами, могут все.

Для сравнения скажу, что я очень люблю музыку, но бог не дал мне слуха. Никогда не только не сочиню, но даже не смогу воспроизвести простейшую мелодию. Однако с наслаждением слушаю музыку, написанную профессионалами (талантливymi) и исполняемую тоже профессионалами (тоже талантливymi).

Многие совсем не умеют рисовать, но любят произведения живописи, не умеют сочинять романы, но наслаждаются, их читая.

По моему глубокому убеждению, подобная ситуация имеет место и в попытках популяризировать науку. Задача автора в этом случае создать яркий образ.

Здесь я попытаюсь рассказать о некоторых достижениях физики, которую очень люблю.

Эта книга о времени, точнее о том, как наука пытается понять, что это такое. Читатель вправе спросить — неужели есть наука о времени? Разве не понятно каждому, что такое время? Что тут можно изучать?

Но попробуйте ответить на вопрос, что такое время, и вы убедитесь, что не сможете это сделать. Известный философ Августин (354—430 гг. до н. э.) писал: «Я прекрасно знаю, что такое время, пока не думаю об этом. Но стоит задуматься — и вот я уже не знаю, что такое время».

Не правда ли, каждый пытающийся ответить на этот вопрос испытывает сходное смущение? Когда мы задумываемся о времени, то возникает ощущение, что это неудержимый поток, в который вовлечены все события. Тысячелетний человеческий опыт показал, что поток времени неизменен. Казалось бы, его нельзя ни замедлить, ни ускорить. И уж конечно, его нельзя обратить вспять. Долго понятие времени оставалось лишь интуитивным представлением людей и объектом абстрактных философских рассуждений.

В начале XX века выяснилось, что на время можно влиять! Очень быстрое движение, например, замедляет бег времени. Затем выяснилось, что поток времени зависит и от поля тяготения. Обнаружилась также

тесная связь времени со свойствами пространства. Так возникла и бурно развивается сейчас наука, которую можно назвать физикой времени (и пространства). Недавно были сделаны открытия в физике элементарных частиц и в астрономии, существенно продвигающие вперед наше знание удивительных свойств времени и приближающие решение его загадок (например, почему цепочка событий времени одномерна, а не имеет еще «ширину» и «высоту», как это имеет место у нашего трехмерного пространства, что было до рождения нашей Вселенной и др.).

Современный этап развития физики характеризуется новым мощным прорывом в нашем понимании строения материи. Если в первые десятилетия XX века было понятно устройство атома и выяснены основные особенности взаимодействия атомных частиц, то теперь физика изучает кварки — субъядерные частицы и проникает еще гораздо глубже в микромир. Все эти исследования теснейшим образом связаны с пониманием природы времени.

В книге рассказывается о том, как понимали время мыслители прошлого, как были сделаны открытия, показавшие, что на время можно влиять. Рассказывается о течении времени в разных уголках Вселенной, о его замедлении вблизи нейтронных звезд, о том, как оно останавливается в черных дырах и «выплескивается» в белых дырах, о возможности «превращения» времени в пространство и наоборот.

Особенно интересны свойства времени в начале взрыва, приведшего к возникновению нашей Вселенной, когда время распадалось на отдельные кванты.

Важное значение для науки и будущей технологии имеют свойства времени в физике сверхвысоких энергий. А в последнее время появились работы, указывающие на возможность создания машины времени, позволяющей путешествовать в прошлое.

В книге рассказывается также о людях, создававших ранее и развивающих сейчас науку о времени. Уж очень часто великие мыслители прошлого или известные современные ученые представляются нам как некие бесплотные имена, известные только из учебников и книг (часто очень сухих). Их образы, по существу, не ассоциируются с живыми людьми, с их интересами, страстями и противоречиями. В этой книге, когда говорится о научном творчестве ученых, приводятся также

некоторые штрихи, характеризующие их и как живых людей. Хотя ни в коей мере я не стремился дать их подробные биографии или перечисление научных заслуг.

Книга рассчитана на школьников старших классов, студентов, всех интересующихся загадками современной науки. У читателей не предполагается никаких специальных знаний, выходящих за пределы курса физики средней школы.

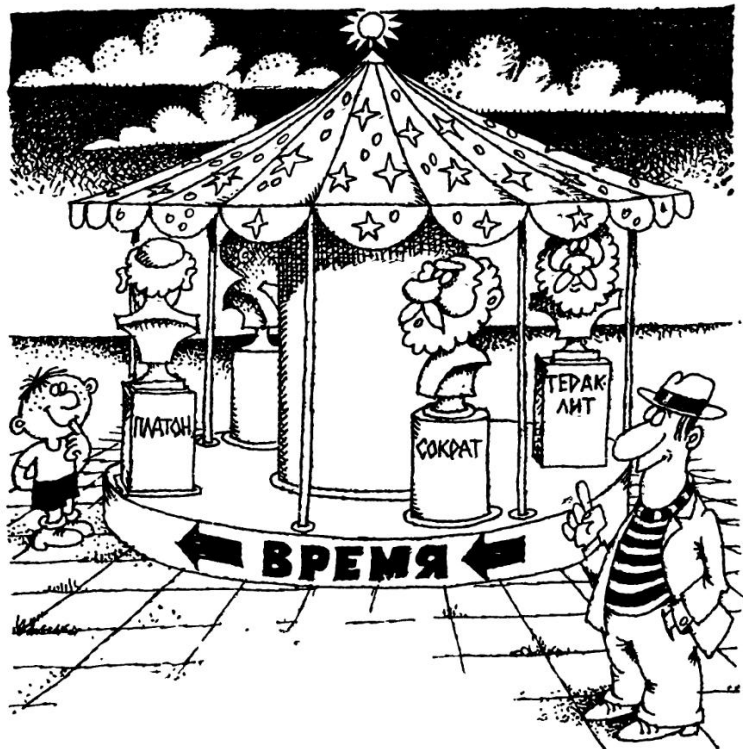
В книге я позволяю себе употреблять личные местоимения и говорить от первого лица, в особенности когда говорю об исследованиях, в которых сам принимал участие, или о моих встречах с физиками и астрономами. В связи с этим привожу слова В. Гинзбурга, сказанные им по поводу одного раздела своей научной статьи: «В научной литературе, особенно на русском языке, не принято употреблять личные местоимения — «я», «мне» и т. д. В целом это относится и к научно-популярной литературе, в согласии с чем автор выше тоже упоминал о себе лишь в третьем лице или использовал другие принятые в таких случаях обороты речи. Однако трудно, да и странно было бы придерживаться такого способа и в настоящем разделе статьи, носящем, можно сказать, автобиографический характер... Поэтому, как можно надеяться, несколько личных местоимений не вызовут у читателя сильных отрицательных эмоций».

Думаю, что читатель не осудит меня за эту «нескромность» при изложении собственных мыслей и впечатлений.

При создании книги пришлось воспользоваться более ранними популярными работами, в том числе и работами с соавторами, за что я приношу им свою благодарность.

В этой книге приводится достаточно много цитат. Как правило, это неизвестные и малоизвестные высказывания выдающихся ученых прошлого или специалистов — наших современников. Я уверен, что только непосредственно точные слова замечательных людей могут наиболее ясно донести до читателей их мысли (а часто и чувства).





## ПЕРВЫЕ МЫСЛИ О ВРЕМЕНИ

С давних пор, когда я начал читать популярные книги по физике, мне казалось само собой очевидным, что время — это пустая длительность, текущая как река, увлекающая своим течением все события без исключения. Она неизменно и неотвратно течет в одном направлении — от прошлого к будущему.

Казалось, такое понимание является неизбежным в наших представлениях об окружающем мире.

Только много лет спустя я узнал, что подобные интуитивные представления о времени были у людей далеко не всегда.

Древнегреческий философ Гераклит Эфесский, живший на рубеже VI и V веков до нашей эры, был, наверное, одним из первых мыслителей древности, кото-

рый утверждал, что все существующее изменчиво, и эта изменчивость является высшим законом природы. Свое учение он изложил в книге «О природе», из которой дошли до нас лишь отдельные фрагменты.

Гераклит писал, что мир полон противоречий и изменчивости. Все вещи изменяются. Неизменно течет время, и неудержимо течет в этом потоке все сущее. Происходит движение неба, движение тел, движутся чувства человека и его сознание. «В одну и ту же реку нельзя войти дважды, — говорил он, — ибо воды в ней вечно новые». Одно приходит на смену другому. «Огонь живет смертью земли, воздух — смертью огня, вода — смертью воздуха, земля — смертью воды».

Мы, наверное, с высоты наших сегодняшних знаний, несколько иронично отнеслись бы к описанной Гераклитом цепочке рождений и уничтожений. Но, несомненно, им очень ярко описана общая изменчивость во времени всего сущего, «...все меняется во всеобщем круговороте в творческой игре Вечности».

В те далекие времена наука только зарождалась. В учениях мыслителей того времени не было еще понятия направленного поступательного развития. Люди неизменно наблюдали скорее циклический порядок явлений в окружающей их природе. День сменялся ночью, а затем снова наступал день. Один сезон года сменял другой, чтобы, завершив цикл, вернуться к прежнему. Циклическим было движение небесных светил.

Как следствие этих постоянно наблюдаемых явлений и время тогда еще не казалось всеобщим однонаправленным потоком — «рекой времени». Время представлялось скорее как циклическое чередование противоположностей. Так греческий математик и философ Анаксимандр (611—546 гг. до н. э.) учил, что первоначальная основа всякого бытия есть «бесконечность». В ее вечном движении рождаются противоположности: тепло и холод, сухость и влага, а затем все опять возвращается к исходному состоянию. Анаксимандр утверждал: «Первоначало существующих вещей есть и то, во что они при своей гибели возвращаются согласно необходимости. Ибо в установленное время они по справедливости выплачивают друг другу компенсацию за ущерб».

Как нам сейчас кажется, это очень оригинальная трактовка времени и изменчивости, связывавшая их с понятием справедливости и равновесия.

Однако идея только временных циклических изменений в мире и неизменности в целом всего сущего, вероятно, прочно владела умами мыслителей на протяжении веков. Людям казалось, что любые явления, меняясь по циклу, возвращаются на «круги своя».

Интересные и глубокие для той эпохи идеи о времени высказывались знаменитым греческим философом-идеалистом Платоном (427—347 гг. до н. э.).

Платон был учеником Сократа, которого называли «мудрейшим из эллинов». Семья Платона принадлежала к богатому и очень знатному роду, восходящему к последнему афинскому царю Кодру. Жизнь Платона, как и жизнь большинства философов тех времен, известна плохо. Достоверные факты здесь перемежаются с легендами и даже анекдотами. Известно, что Платон под руководством лучших учителей прошел полный курс воспитания. Этот курс сводился к изучению грамматики, музыки, гимнастики. Затем он занялся стихами. Но в 407 году в 20-летнем возрасте встретился с Сократом и целиком посвятил себя философии.

Метод обучения Сократа состоял в свободной беседе со всеми, кто его хотел слушать. Правители запретили ему вести эти разговоры с юношеством, но философ, отличавшийся принципиальностью и патриотизмом, не последовал этому приказу. Его свободные беседы с учениками закончились весьма трагически. Как известно, Сократ был обвинен в безбожии и развращении юношества. Его друзья предлагали ему бежать из темницы, а ученики, среди которых был и Платон, предлагали за него денежное поручительство. Но Сократ вел себя гордо: он отклонил бегство, был осужден и принужден выпить чашу с ядом.

После гибели учителя Платон переселился в Мегару, где продолжал заниматься философией. Он очень много путешествовал, пытался влиять на тогдашних правителей с целью создать «идеальное государство», в котором бы царствовали философы. Эти попытки кончились полным крахом. По некоторым (недостовверным) свидетельствам, его даже продали в рабство, от которого он, однако, освободился. Вернувшись в 386 году в Афины, Платон основал свою философскую школу, названную Академией.

Согласно его учению тот мир, который мы видим и исследуем, не является «настоящим миром», а только представляется нам, является внешним проявлением

истинного мира. Небесные тела и тела на Земле — это согласно Платону как бы «бледные тени» некоторых идеальных прообразов, составляющих действительный мир. «Тени эти несовершенны и изменчивы». «Истинный мир», по Платону, — это абстрактные сущности (он их называл идеями). Идеи — «духовные сущности» — полностью совершенны, не могут никак меняться. Они существуют не в нашей материальной Вселенной, не в пространстве и времени, а в идеальном мире полного совершенства и вечности.

Подлинное бытие, говорил Платон, — это идеальное бытие. Например, в таком абстрактном мире существует не конкретная вещь, скажем, стол из дерева, вполне определенной формы, цвета и т. д., а есть абстрактное понятие «стол». Это и есть «идея стола».

Конечно, такое понятие никак не изменяется. Такие свойства понятий — их вечность, неизменчивость напоминают свойства геометрических фигур — треугольников, кругов, пирамид. Свойства фигур тоже не меняются, и эти идеальные фигуры существуют в абстрактном воображаемом мире. Но Платон такой воображаемый мир и считал реальным.

Видимый мир, по Платону, сотворен Создателем по этим высшим прообразам. Каждое тело стремится походить на свой прообраз, но в отличие от него — изменчиво, имеет свое начало и свой конец. Это не позволяет «бледным теням» полностью походить на свои идеалы. В идеалах — вечность, в видимом нами мире — постоянная изменчивость. Чтобы навести порядок и сгладить противоречие, Создатель сотворил время. «Он замыслил сотворить некоторое движущееся подобие вечности; устрояя небо, он вместе с ним творит для вечности, пребывающей в едином, вечный же образ, движущийся от числа к числу, который мы и называем временем».

Таким образом, подобно тому, как согласно Платону окружающие нас тела в видимом и осязаемом мире являются несовершенными копиями их идеальных прообразов в мире идей, так и время является несовершенной «моделью», образом идеальной вечности. Время вечно течет, подражая неизменной совершенной абстрактной вечности из абстрактного мира сущностей.

Звучало все это очень красиво. Платон придумал и то, как конкретно время возникает в сотворенном богом мире. Оно возникает в движении небесных тел, в

постоянном вечном и неизменном кружении Солнца, Луны, планет, наблюдаемых человеком. По существу, это кружение Платон и отождествляет с временем.

Из-за того, что движение небесных светил циклично, время представляется также цикличным, бегущим по кругу. Все в нашем материальном мире согласно Платону повторяется по прошествии большого промежутка времени (Платон называл даже число — 36 тысяч лет как продолжительность цикла).

За далью веков нам не всегда просто представить уровень знаний того времени, общепринятый тогда стиль мышления. Поэтому зачастую трудно оценить научный гений мыслителя древности, сделавшего решительный шаг на бесконечной дороге познания истины. По тем же причинам и из-за скудности дошедших до нас достоверных сведений еще труднее представить сложные и многогранные личности философов, их непростые жизненные пути.

В то время не было четкого разделения наук, не было науки, отличной от всеобщей философии, психологии, этики. Знания, чувства, социальные и этические позиции часто переплетались, влияя друг на друга. Свои произведения Платон писал в виде диалогов, причем они не были, вероятно, последовательным изложением его учения, следовавшим заранее продуманному плану. Писались они в разное время, на протяжении всей его жизни, и по крайней мере часть их вызывалась спорами с софистами (проповедовавшими умственную анархию), другими его противниками, а также различными жизненными проблемами. В этих произведениях, как правило, ведет диалог Сократ.

Взгляды Платона со временем менялись. В период его ученичества у Сократа он считал, что смысл жизни философа — познание абстрактных истин свободным творчеством ума. Это познание и дает счастье, оно не зависит от внешних обстоятельств. Под влиянием Сократа он считал, что зло в мире связано лишь с незнанием людьми истины, объясняется их невежеством.

Смертный приговор заведомо невиновному Сократу глубоко потряс Платона; в его воззрениях происходят перемены. Он приходит к убеждению, что мир, в котором столько зла, не может быть истинным, настоящим. Истинный мир — это мир совершенных идей. В эти годы Платон скептически относился к призванию философов учить людей добродетели. Он считал их неиспра-

вимыми. В одном из своих диалогов он рисует образ Аниты — главного обвинителя Сократа. Анита утверждает, что единственные учителя добродетели — это исключительно правительственные лица, а так называемые мудрецы — только зловерные колебатели основ. В этом диалоге на вопрос Сократа, знает ли Анита мудрецов, тот отвечает, что не знает и не желает знать, но считает необходимым делать им как можно больше зла...

В дальнейшем Платон пытался в своих произведениях создать образ «идеального», по его понятиям, государства, где правят философы, однако есть рабство и войны, признается безусловное главенство греков над остальными «варварами». Затем Платон пытался на практике влиять на социальное устройство общества через свое влияние на правителей, что закончилось, как уже говорилось, крахом.

В сочинении «Законы», написанном Платоном, вероятно, в старческом возрасте, он полностью отказался от устремлений эпохи своей молодости к истине и справедливости. В этом произведении светлый образ Сократа не только не является главным, как во многих предыдущих произведениях, но его имя не упоминается вовсе. Дух этого произведения также полностью противоположен принципам Сократа.

Составленный Платоном свод законов для будущего «идеального» государства на Крите включал карательное преследование «чародеев», смертную казнь рабу, не донесшему властям о нарушении «общественного благочиния», смертную казнь всякому, кто будет критиковать установленные властями и официальной религией порядки. Так, в конце жизни Платон прямо стал на сторону обличаемого им прежде обвинителя Сократа Аниты.

Платон был величайшим мыслителем. Потомкам обычно хочется идеализировать образ великого человека. Но люди, даже великие, далеко не всегда бывают цельными во всех отношениях. Чаще они сложны и противоречивы, подвержены действию внешних обстоятельств. Люди есть люди. Некоторым историкам, как, например, немецкому филологу Г. Асту (1778—1841), известному исследователю творчества Платона, очень хотелось бы посчитать «Законы» (из самых благих намерений!) сочинением поддельным, только приписываемым Платону. Но, увы, по-видимому, это его подлин-

ное произведение. Об этом прямо свидетельствует Аристотель — самый знаменитый ученик Платона. Конечно, сложность натуры, непростая жизнь Платона, прямая реакционность некоторых его высказываний не умаляют его огромного вклада в науку и философию.

Однако вернемся к проблеме времени. Такой же, как и Платон, точки зрения на цикличность времени придерживался его ученик Аристотель (384—322 гг. до н. э.).

Личность Аристотеля — одного из величайших ученых Греции, весьма примечательна. Его отец был придворным врачом македонского царя Аминты III. Он обучал сына медицине и философии и хотел, чтобы сын впоследствии занял его должность. Но жизнь распорядилась по-другому. Рано потеряв родителей, Аристотель в 18-летнем возрасте приехал в Афины. Там в Академии Платона он быстро овладел философией своего учителя и занял самостоятельное положение. Во многих отношениях его взгляды стали расходиться со взглядами учителя. Сразу же после смерти Платона Аристотель уехал из Афин. В 343 году до н. э. македонский царь Филипп поручил Аристотелю воспитание своего сына Александра — будущего знаменитого полководца. Вероятно, благотворное влияние Аристотеля на Александра было весьма сильным, несмотря на окружение двора, где царили интриги и заговоры — нравы, далекие от благородства. Филипп и Александр в знак благодарности щедро наградили Аристотеля и восстановили разрушенный его родной город Стагиру. Впоследствии из-за разного рода интриг дружеские отношения Александра и Аристотеля были нарушены.

Еще до этого, в 334 году до н. э., Аристотель вернулся в Афины и основал там свою философскую школу, называемую перипатетической. Это название, вероятно, связано с тем, что во время своих лекций Аристотель обычно ходил взад и вперед, что по-гречески обозначается словом, давшим название его школе.

После смерти Александра партия греческой независимости выступала против своих повелителей и, естественно, видела в бывшем учителе Александра опасность для себя, да к тому же Аристотель пользовался большим уважением окружающей его молодежи. Ему было предъявлено обвинение в безбожии, которое предъявлялось ученым их противниками и до Аристотеля, и много, много веков спустя и было очень удобным,



ибо легко подхватывалось невежественными людьми. Аристотель понимал, что никакой справедливый суд невозможен, и если он не спасется бегством, то ему придется разделить участь Сократа. В 62-летнем возрасте он покинул Афины и вскоре умер.

По отзывам современников, Аристотель был саркастичен и язвителен. Своей остроумной речью он старался поддеть противника, был холоден и насмешлив. Если к этому добавить, что он был непривлекателен, низкого роста, сухощав, близорук и картав, то легко можно понять, что нажить себе врагов ему было трудно.

По-видимому, Аристотель не старался быть деликатным в высказывании своих суждений и в демонстрации силы своего интеллекта. Мы не знаем, делал он это сознательно или невольно. Любопытно, что много веков спустя другой гений — Исаак Ньютон — уже в сравнительно молодом возрасте (ему было в ту пору 27 лет) высказывал точку зрения, сводящуюся к тому, что не следует без нужды выпячивать свое превосходство, ибо это только повредит делу. В письме к своему знакомому в Кембридже он писал: «Вы мало или ничего не выиграете, если будете казаться умнее и менее невежественным, чем общество, в котором Вы находитесь».

Наверное, столь разное отношение к способам общения связано не с разностью во времени, измеряемой тысячелетиями, а с разными темпераментами и вообще с тем, что не только все люди, но и все гении — разные.

Аристотель оказал огромное влияние на дальнейшее развитие науки и философии. В своих произведениях он как бы подытожил все предшествовавшие ему достижения науки и во многие ее разделы внес свой вклад. В отличие от Платона Аристотель не верил в существование какого-то вневременного мира идей. Он считал, что мир, который мы видим и ощущаем, и есть действительный мир. Аристотель считал, что физика — это наука об изменяющихся вещах, существующих в нашем мире. Этим она отличается от математики, которая изучает неизменные свойства чисел и фигур. Но физика у него еще умозрительная наука.

Первичными качествами материи согласно Аристотелю являются противоположности — «теплое» и «холодное», «сухое» и «влажное», а основными элементами («стихиями») — земля, воздух, вода и огонь. К ним добавлялся самый совершенный элемент — эфир. Ос-

новые элементы — земля и вода, — по Аристотелю, стремятся «вниз» к центру Вселенной (так объяснял он тяжесть) — мы бы сказали, что они подвержены действию силы, тянущей их вниз. Воздух и огонь, наоборот, имеют тенденцию подниматься (по нашей терминологии, на них действует «подымающая сила»). Любопытно, что введенное Аристотелем подразделение содержимого Вселенной на «физическую материю» и «силы взаимодействия» сохраняется в физике до сих пор, хотя, конечно, имеет совсем другое содержание.

Согласно Аристотелю Земля шарообразна, неподвижна и находится в центре Вселенной. Вокруг нее по концентрическим окружностям движутся Луна, Солнце, планеты, прикрепленные к хрустальным сферам. Их движение вызвано вращением самой внешней сферы, на которой находятся звезды, состоящие из эфира. Область внутри орбиты Луны («подлунный мир») — есть область разного рода неравномерных движений. Все, что находится за орбитой Луны («надлунный мир»), это область вечных, равномерных, совершенных движений.

В отличие от Платона Аристотель полагал, что движение, даже самое совершенное вращение сферы звезд, еще не есть время. А время, считал он, позволяет измерить движение, «есть число движения», то есть это то, что позволяет определить, движется ли тело быстро или медленно или вообще покоится.

Но в физике Аристотеля главным образом интересовало не само движение, не динамический процесс, а предыдущее и последующее состояние тела, как бы начальное и конечное состояние. Поэтому время у Аристотеля не играло столь важной роли, какую оно играет в современной физике.

В последующие века церковь канонизировала учение Аристотеля, заставляла считать «единственно верным» только то, что сказано у Аристотеля, и, естественно, запрет что-нибудь менять в этом учении стал тормозом дальнейшего развития науки.

Закончим наш экскурс в древние времена словами философа Б. Кузнецова о культуре той эпохи.

«В целом античная культура вызывает прежде всего ощущение грандиозности того поворота в мыслях и чувствах людей, того расширения арсенала понятий, логических норм, фактических знаний, которые имели место в древности. Когда смотришь на статую Венеры Милосской, ее красота поражает прежде всего многообраз-

ностью, бесконечной многомерностью и вместе с тем единством образа. Это впечатление настолько интенсивно, что оно как бы берет в одни скобки все дальнейшее развитие цивилизации, как детство человека чарует нас обещанием, новизной, свежестью, тем, что нельзя повторить».



## НАЧАЛО НАУКИ О ВРЕМЕНИ

Эпоха Возрождения, наступившая после многих веков мрачного средневековья, принесла новые выдающиеся открытия в естественных науках. В это время было создано великое учение Н. Коперника (1473—1543), совершившее коренной переворот в сознании людей. Прежде всего это учение уничтожало непроходимый барьер между земным и небесным. Раньше все небесное было символом совершенства, вечности, идеала. Идеальны были светила небесные и идеальны, совершенны их равномерные движения по окружностям. Все это противопоставлялось грубой земной материи и ее хаотическим беспорядочным движениям. Он показал, что Земля — рядовая планета, движущаяся наряду с другими планетами вокруг Солнца.

Н. Коперник с 1510 года был каноником католического костела в Фрауенбурге — маленьком городке на берегу Вислы. Здесь в уединении он занимался астрономией. Однако его досуг был посвящен не только этой древнейшей науке. Он безвозмездно лечил больных. По его проекту была введена новая денежная система в Польше. Им сконструирована и построена гидравлическая машина для подачи воды в дома.

Коперник поступал очень осторожно с публикацией своего учения, ясно сознавая его противоречие утверждениям церкви об исключительном положении Земли и человека во Вселенной. Его труд, носящий название «О вращении небесных сфер» и посвященный папе Павлу III (по «согласованию» с последним!), был напечатан в 1543 году незадолго до смерти автора. Однако к главным выводам своего учения Н. Коперник пришел задолго до этого. В сочинении «Малый комментарий», датированном примерно 1515 годом, Н. Коперник писал: «Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом Земля имеет несколько движений. Кажущиеся прямые и попятные движения планет принадлежат не им, но Земле. Таким образом, одно это ее движение достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей».

Нам сегодня, конечно, трудно представить, насколько нетривиальным по тем временам должен был быть образ мыслей человека, который осмелился утверждать, что Земля движется! И дело здесь не только в противопоставлении своих выводов канонам церкви. Ведь тогда в самой науке господствовало учение Аристотеля, согласно которому для поддержания движения все время необходимо действие силы (о движении по инерции тогда ничего не знали!). Поэтому считалось, что если бы Земля вращалась, то это сказывалось бы на земных явлениях: воздух должен бы стремиться оставаться неподвижным, и на вращающейся Земле бушевали бы ураганы, падающие с башни тела отставали бы от поверхности Земли, уносящейся вращением, и не падали бы к основанию башни и т. д.

Таким образом, Н. Копернику прежде всего приходилось выступать против укоренившихся веками предассудков о движении, имевшихся в учении Аристотеля.

Трудность преодоления этих убеждений заключалась еще в том, что в то время считалось: для получения сведений о природе вовсе не надо обращаться к опытам, к эксперименту. Достаточно только хорошенько поразмыслить, и истину можно установить чисто логическими умозаключениями.

Н. Коперник на основе астрономических наблюдений не только создал новое представление о Солнечной системе, но, по сути, первым выступил против догм Аристотелевой физики. Он понял, что на движущейся по инерции Земле все должно происходить так же, как на неподвижной: «И почему нам не отнести видимость суточного вращения к небу, а его действительность к Земле?.. Потому что, когда корабль идет по спокойной воде, все, что находится вне его, представляется морякам движущимся в соответствии с движением корабля; сами же они со всем, с ними находящимся, будто бы стоят на месте. Это же без сомнения может происходить и при движении Земли, так что можно прийти к мнению, будто вращается вся Вселенная. Что же теперь сказать нам об облаках и обо всем остальном, так или иначе парящем, опускающемся и поднимающемся в воздухе, как не то, что движется не только суша вместе со связанной с ней водной стихией, но и немалая часть воздуха и все, что так или иначе соединено с Землей...

...Поэтому ближайший к Земле воздух вместе со всем в нем парящим должен казаться нам спокойным, если, как это случается, его не гонит то туда, то сюда ветер или любая другая внешняя сила».

В этом отрывке ясно говорится, по существу, об относительности движения и о свойствах движения по инерции, окончательная формулировка которых была дана Галилеем столетие спустя.

Наверное, действительно каждый человек, когда он в детстве и юности знакомится с законами механики, должен сделать над собой заметное усилие, чтобы понять, что в движущемся закрытом экипаже отпущенный с некоторой высоты предмет упадет к ногам точно так же, как и в стоячем экипаже. Сегодня, в эпоху частых поездок на поездах и полетов на самолетах, ко всему этому привыкают с детства. Но тем не менее я отчетливо помню, как в возрасте около десяти лет в кузове грузовика, быстро мчавшегося по херсонской степи, я с удивлением раз за разом наблюдал падение шарика на пол кузова точно под моей рукой, хотя скорость

передвижения грузовика была огромной по моим детским понятиям и мне казалось, что пол грузовика должен уноситься в этом движении из-под падающего шарика. Нелегко было понять, что выпущенный из рук шарик продолжает по инерции двигаться вместе с грузовиком по степи, сохраняя ту скорость движения, которую он имел в моих руках вместе со мной и грузовиком до того, как я его отпустил.

Учение Н. Коперника поначалу не вызывало особого беспокойства католической церкви. Этому способствовало предисловие к книге «О вращении небесных сфер», которое было анонимным. В этом предисловии (автором его был богослов Оспандер) говорилось, что цель автора состояла лишь в предложении способа математического вычисления наблюдаемого положения небесных светил и что он вовсе не пытается выяснить действительное движение этих тел. «Гипотезы его, — говорилось в предисловии, — могут быть и несправедливыми, могут быть даже невероятными; достаточно, если они приводят нас к вычислениям, удовлетворяющим нашим наблюдениям».

Однако в начале XVII века, когда учение Коперника начало широко распространяться и реально угрожать церковным догматам, книга его была занесена церковью в «Индекс запрещенных книг», где находилась в течение более двух веков.

В это время Г. Галилей (1564—1642) создал новое понимание физики, сформулировал первые по-настоящему обоснованные начала науки о времени, нашедшие свое четкое воплощение в последующих трудах И. Ньютона.

Г. Галилей сделал в науке много важных открытий, о которых читатель, без сомнения, знает. Но самым важным, безусловно, является его новый подход к естественным наукам, его убеждение, что для исследования природы в первую очередь необходимо ставить продуманные опыты. Только проверяя предположения экспериментом, только «задавая Природе вопросы», можно понять окружающий мир. В этом он резко расходился с Аристотелем, который считал возможным познание мира чисто логическим путем. Г. Галилей утверждал также, что поверхностные наблюдения без должного анализа могут приводить к ложным заключениям.

Все это вместе явилось началом современного научного метода исследования природы. «Наука, связываю-



шая теорию и эксперимент, фактически началась с работ Галилея», — писал А. Эйнштейн.

Открытия Г. Галилея в физике основаны на многочисленных проведенных им опытах. Для нашего повествования особенно важным является его открытие инерции и инерциального движения.

В повседневной жизни наглядные наблюдения за движением тел веками убеждали людей в том, что если не поддерживать движения, не подталкивать, скажем, катящийся шар, то тело останавливается. Аристотель подытожил все эти наблюдения так: «Движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие». Но мы знаем сегодня, что катящийся шар останавливается вовсе не потому, что на него не действует подталкивающая сила, а потому, что его тормозит сила трения, связанная с неровностями поверхности и с сопротивлением воздуха. Если делать поверхность все ровней и ровней и убрать сопротивление воздуха, то шар будет катиться все дальше. В пределе шар никогда не остановится. Таков был вывод Г. Галилея: «...движение по горизонтали является вечным, ибо если оно является равномерным, то оно ничем не ослабляется, не замедляется и не уничтожается».

Закон движения по инерции, открытый Г. Галилеем, лежит в основе принципа механической относительности.

Этот принцип означает, например, что независимо от того, стоит корабль или равномерно движется по спокойной воде, в каюте на корабле все процессы будут протекать совершенно одинаково. Мы можем ходить, бросать предметы, мухи могут свободно летать по каюте, и движение корабля на всем этом никак не сказывается. Вот что говорит по этому поводу один из действующих лиц в книге Г. Галилея «Диалоги о двух главнейших системах мира» Сальвиати: «Запритесь с кем-нибудь из друзей в кают-компанию под палубой большого корабля, взяв с собой мух, бабочек и других небольших летающих животных. Возьмите и большой сосуд с водой, в котором плавают рыбы. Повесьте бутылку, из которой капля по капле вытекает вода в широкий сосуд внизу. Пока ваше судно стоит на месте, внимательно наблюдайте, как насекомые летают по помещению с одинаковыми скоростями во все стороны. Рыбы плавают как угодно, не предпочитая какого-либо особого направления. Капли падают в сосуд под бутылку.

Если же вы бросите что-нибудь вашему другу, то вы приложите одинаковое усилие, в каком бы направлении ни бросали, если расстояния одинаковы. Прыгая обеими ногами сразу, вы будете пролетать одинаковое расстояние в любом направлении. Тщательно пронаблюдав все это (хотя вы и не сомневались, что все будет происходить именно так, пока корабль стоит на месте), отдайте команду, чтобы корабль начал двигаться с любой скоростью, лишь бы его движение было равномерным и не подвергалось каким бы то ни было возмущениям. Ни в одном из указанных процессов вы не обнаружите ни малейших изменений и не сможете ни по одному из них узнать, движется корабль или стоит на месте. Прыгая, вы будете пролетать над полом те же расстояния, что и раньше, и ваши прыжки в сторону кормы не окажутся длиннее прыжков в сторону носа корабля, несмотря на то, что, пока вы находились в воздухе, пол под вами двигался в направлении, противоположном вашему. Для того чтобы перебросить какой-нибудь предмет вашему другу, вам не понадобится затратить большее усилие, если ваш друг стоит ближе к носу корабля, а не к корме, когда вы расположились против него. Капли будут продолжать падать в стоящий внизу сосуд, не отклоняясь к корме, хотя, пока они летят в воздухе, судно успевает передвинуться на несколько пядей. Рыбы будут плавать в воде в своем сосуде с одинаковой легкостью во все стороны и в равной мере хватать приманку, в какой бы угол сосуда мы ее ни поместили. Наконец, бабочки и мухи будут совершать полеты равно во всех направлениях, и вы никогда не обнаружите, что они скопились у кормы, как бы устав поспевать за ходом корабля, от которого они были отделены, находясь длительное время в воздухе».

Это удивительно яркое описание является одним из первых описаний принципа относительности движения. Заметим, что произведения Г. Галилея — это не только сокровища человеческой мысли, но и выдающиеся литературные произведения. Итальянские школьники изучают их именно как литературное наследие своей страны.

Никакие механические опыты внутри каюты не помогут определить, движется ли корабль или покоится. Как уже говорилось, в наше время постоянных переездов и перелетов мы давно к этому привыкли. Для нас ясно, что утверждение, например, «чашка покоится» бес-

смысленно, если не будет указано, по отношению к чему чашка покоится. В летящем самолете чашка может стоять на нашем столике и покоиться по отношению к нам, но вместе с нами и с самолетом стремительно двигаться относительно Земли. Мы можем не спеша идти по салону самолета и в то же время с большой скоростью передвигаться по отношению к Земле. Всякий покой и движение тела, его скорость относительны, имеют смысл только когда указано, по отношению к какой «лаборатории» эти понятия употребляются.

Это открытие Г. Галилея — открытие того, что все происходит совершенно одинаково независимо от равномерного движения «лаборатории», в которой проводятся наблюдения, — и явилось научным аргументом против утверждения сторонников неподвижности Земли во Вселенной. Следуя Н. Копернику, Г. Галилей утверждал: «Положим в основу нашего познания то, что, каково бы ни было движение Земли, для нас, обитателей ее, оно незаметно, пока мы судим о нем по земным вещам».

Г. Галилей был страстным пропагандистом учения Коперника, в истинность которого он непоколебимо верил. Открытия в физике и астрономии сделали его самым знаменитым ученым в Европе. Поначалу католическая церковь старалась осторожными увещаниями склонить его на ту точку зрения, что учение Коперника только удобная для вычисления гипотеза (как утверждал Осидер в предисловии к книге Н. Коперника). Кардинал Беллормино писал стороннику коперниковского учения патеру Факарини: «Мне кажется, что Вы и сеңор Галилео поступили бы осторожно, если бы удовлетворились высказываниями *suppositione* (предположительно), но не абсолютно; так говорил, как я всегда думал, и Коперник. Действительно, когда утверждают, что в предположении, будто Земля движется и Солнце стоит неподвижно, все наблюдаемые явления спасаются лучше, чем при задании эпициклов и эксцентров, то это прекрасно сказано и не включает в себе никакой опасности; а этого и достаточно для математики; но когда начинают говорить, что Солнце действительно стоит в центре мира и что оно только вращается вокруг самого себя, но не движется с востока на запад, и что Земля находится на третьем небе (третья по порядку планета от Солнца) и с большой скоростью вращается вокруг Солнца, то это вещь очень опасная и не только

потому, что она раздражает всех философов и ученых-богословов, но и потому, что она вредит Св. вере, поскольку из нее вытекает ложность Св. писания».

Как замечает советский физик В. Гинзбург, милостивое разрешение «спасать» явления и заниматься математикой, но не касаться реальности, существа дела, вызвало бешенство у Г. Галилея. В послании герцогине Лотарингской он пишет: «Профессора-богословы не должны присваивать себе права регулировать своими декретами такие профессии, которые не подлежат их ведению, ибо нельзя навязывать естествоиспытателю мнения о явлениях природы... Мы проповедуем новое учение не для того, чтобы посеять смуту в умах, а для того, чтобы их просветить; не для того, чтобы разрушить науку, а чтобы ее прочно обосновать. Наши же противники называют ложным и еретическим все то, чего они не могут опровергнуть. Эти ханжи делают себе щит из лицемерного религиозного рвения и унижают Священное писание, пользуясь им как орудием для достижения своих личных целей... Предписывать самим профессорам астрономии, чтобы они своими силами искали защиты против их собственных наблюдений и выводов, как если бы все это были один обман и софистика, означало бы предъявлять к ним требования более чем невыполнимые; это было бы все равно, что приказывать им не видеть того, что они видят, не понимать того, что им понятно, и из их исследований выводить как раз обратное тому, что для них очевидно». «Замечательные слова, звучащие вполне современно», — добавляет В. Гинзбург.

Нам остается подчеркнуть, что далеко не всякое движение «лаборатории» незаметно для находящихся в ней людей и предметов. Так, если резко трогается автомобиль или он круто поворачивает на вираже, то мы явственно это ощущаем. Необнаружимы только равномерные и прямолинейные движения. Такие движения «лабораторий» или тел, которые происходят по инерции без действия каких-либо сил, или же когда все силы и «толкающие», и «тормозящие» или отклоняющие от прямолинейного движения точно уравновешивают друг друга, такие движения называют инерциальными, а «лаборатории» — инерциальными «лабораториями».

Конечно, в природе инерциальные «лаборатории» могут осуществляться только с той или иной степенью приближенности. Корабль, подверженный легкой качке

волн, очевидно, не «идеальная инерциальная лаборатория». Покачивание корабля можно обнаружить. Но чем меньше всякого рода ускорения или чем плавнее повороты, тем ближе свойства такой «лаборатории» к инерциальным. Сама поверхность Земли тоже «инерциальная лаборатория» только приближенно. Мы знаем, например, что она участвует в круговом движении вокруг оси вращения.

Специально поставленные опыты могут это обнаружить. Читатель, возможно, видел или, по крайней мере, читал о маятнике Фуко. Большой маятник в виде груза на длинном подвесе в высоком помещении, колеблясь, стремится сохранить плоскость своего колебания неизменной по отношению к звездам. Поверхность Земли вместе со зданиями поворачивается в суточном вращении, и мы видим, что направление колебания маятника меняется по отношению к стенам здания. Такие опыты впервые были проделаны французским физиком Ж. Фуко много лет спустя после Г. Галилея, в 1851 году, с маятником в Понтеоне.

Но вернемся в XVII век. Истинное знание прокладывало себе дорогу в страстной схватке с укоренившимися догмами, с глубокими объективными трудностями, которые всегда воздвигает Природа перед человеческим познанием, и, наконец, с социальными сплетениями жизненных интересов многих людей.

Уже после знаменитого судебного процесса, сделавшего Г. Галилея в 1633 году «узником инквизиции», он издал книгу «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых наук...». В этой книге, излагающей основы динамики, он писал: «Настоящим сочинением мы лишь открываем двери к этим двум новым наукам, изобилующим приложениями, которые в будущем будут неизмеримо больше приумножены пытливыми умами... одна из наук касается предмета вечного, имеющего первенствующее значение в природе».

Через год после смерти Г. Галилея родился гениальный ученый Исаак Ньютон (1642—1727). Своими трудами он завершил создание классической физики и первой физической уже в нашем понимании теории времени.

В отличие от биографий ученых древности жизнь И. Ньютона известна довольно хорошо. На первый взгляд она внешне удивительно бедна событиями. Начиная рассказ об И. Ньютоне, Б. Кузнецов замечает: «Не было семьи, не было путешествий, не было каких-

либо крупных перемен в жизни, почти не было друзей, почти не было широкой общественной деятельности. Такая жизнь на первый взгляд контрастирует с невероятной насыщенностью творческого пути мыслителя, с подлинными трагедиями познания. Но в действительности между тем и другим имеется глубокое соответствие».

И. Ньютон родился в деревне Вулсторп, недалеко от восточного побережья Англии, в семье фермера. Отец его умер еще до рождения сына. Мальчик учился в королевской школе в маленьком городке Грантем, вблизи которого находилась деревня Вулсторп, а в 1661 году в возрасте девятнадцати лет поступил в Кембриджский университет. Уже в этом возрасте Исаака отличала педантичность, стремление к систематизации и порядку. Он начинал как бедный студент Тринити-колледжа Кембриджского университета — одного из самых знаменитых в Англии. И. Ньютон закончил университет через три года и быстро превратился в мыслителя с гениальными идеями. В 1669 году он занял должность «люкасовского профессора». Эта кафедра, основанная на пожертвования Генри Люкаса в 1663 году, и до сих пор остается одной из самых знаменитых физических кафедр в мире.

Основные физические идеи, положившие начало новому развитию этой науки, были сформулированы И. Ньютоном в очень короткий период, в 1665—1667 годах, во время его пребывания в родной деревне Вулсторп, хотя опубликованы они были гораздо позднее.

В 1665—1667 годах в Англии свирепствовала страшная эпидемия чумы. И. Ньютон уезжает из Кембриджа, где он только что стал бакалавром, в деревню и проводит там около полутора лет. Здесь он непрерывно работает над шлифовкой стекол, созданием приборов, ставит химические опыты. И в это же время напряженно размышляет над основными проблемами физики, астрономии, математики. Результаты этой работы поистине фантастические и могут быть названы озарением. В деревне он приходит к формулировке основ физики, создает теорию тяготения, согласно которой тяжесть, заставляющая тела падать на Землю, тождественна силе, которая удерживает небесные тела на их орбитах, и эта сила ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Уже на склоне лет он рассказывал, как в вулсторпском саду обратил внимание на падение яблока с дере-

ва на Землю и задумался над тем, почему падает яблоко. Ответ, казалось, был давно известен людям: падать его заставляет тяжесть. Но что это такое? И пришел к выводу, что тяжесть означает притяжение яблока Землей. Эта же сила должна распространяться дальше от поверхности Земли, захватывать Луну, удерживая ее на орбите, не позволяя, двигаясь по инерции, улететь в космическое пространство.

Полвека спустя, в 1714 году, И. Ньютон так вспоминал об этом периоде своей работы: «И в том же году, 1665-м или 1666-м, я начал думать о тяготении, простирающемся до орбиты Луны... Все это было в 1665 и 1666 годах — в годы чумы, ибо я в те дни был на заре своей поры изобретения, и математика и философия волновали меня более, чем когда-либо после».

Точную формулировку закона тяготения И. Ньютон опубликовал много позже в своем знаменитом труде «Математические начала натуральной философии» (1686), или, как его кратко называют, «Начала». Надо сказать, что почти всегда он не спешил с публикациями, хотя проблемы приоритета были ему далеко не чужды. Почему так происходило? Главной причиной, вероятно, является совершенно новое отношение ученого и к проблемам познания, и к тому, что считать установленной истиной.

Если кратко охарактеризовать эти его отношения, то можно сказать, что он стремился к полнейшему порядку в знаниях о природе, стремился к таким знаниям, которые точно подтверждены экспериментами, точно обоснованы логикой и математикой. Это те требования, которые предъявляются к науке и сегодня.

Как и многие великие идеи, теория тяготения Ньютона имеет свою предысторию. Почти одновременно с ним к пониманию отдельных свойств тяготения подошли многие ученые. Так, Дж. Боррелли пришел к выводу о взаимном притяжении всех тел во Вселенной и к тому, что при вращении планет по орбитам притяжение к Солнцу уравновешивает центробежные силы, открытые Х. Гюйгенсом. Другой современник И. Ньютона, Г. Гук, утверждал, что сила притяжения тел изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Но мы считаем, что именно И. Ньютон является создателем теории тяготения.

Отдавая дань прозорливости других исследователей, мы по праву приписываем славу первооткрывателя ему.



Почему? Потому что именно он дал доказательства справедливости своих построений. От умозрительных рассуждений он перешел к математическим расчетам, к физическим опытам и интерпретации астрономических наблюдений.

Так начиналась новая физика!

Мы в дальнейшем поговорим о том, как И. Ньютон впервые сформулировал важнейшие свойства времени, о котором в основном и ведется повествование в этой книге. Но здесь я хочу отметить, что открытие им закона всемирного тяготения было очень важным не только для создания небесной механики, управляющей всеми движениями небесных тел во Вселенной, но и для понимания того, что такое время. Правда, это выяснилось очень не скоро — около трех столетий спустя, уже в нашем веке, когда было доказано, что тяготение влияет на бег времени. Но опять вернемся в XVII век.

В Вулсторпе в 1665—1667 годах И. Ньютон занимался не только проблемами тяготения, но и механикой, оптикой, математикой, в которых ему принадлежат фундаментальные открытия.

В период после Вулсторпа вплоть до 80-х годов он больше всего исследовал проблемы оптики, а также интересовался химическими опытами. В середине 80-х годов был написан и опубликован главный труд его жизни — знаменитые «Начала». В этом труде были подытожены и плоды вулсторповских размышлений, и результаты последующего развития возникших тогда идей.

Между получением основных результатов работы и их публикацией прошло около двух десятилетий! Как уже говорилось, И. Ньютон, стремясь к предельной точности и законченности всех выводов, их логической неувязимости, никогда не спешил с публикациями. Непосредственным толчком к написанию «Начал» послужили следующие события.

Как-то в начале 80-х годов трое известных ученых — Э. Галлей, Р. Гук и К. Рен — собрались в лондонской кофейне и обсуждали проблемы движения планет вокруг Солнца. К тому времени было известно, что в согласии с законами, установленными И. Кеплером, планеты движутся по эллипсам. Собравшихся ученых интересовала проблема, как, исходя из предположения о том, что тяготение Солнца ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния, показать, что пла-

неты должны двигаться именно по эллипсам. Решения этой проблемы они не знали. По предложению К. Рена была назначена символическая премия — книга стоимостью в сорок шиллингов тому, кто решит задачу. В 1684 году, когда Э. Галлей был в Кембридже, он рассказал И. Ньютону о дискуссии в кофейне. В ответ тот заметил, что давно знает решение! После этого Э. Галлей убедил И. Ньютона написать книгу с изложением доказательства. Так появились «Начала», которые редактировал и издал на свои средства Э. Галлей. По свидетельству секретаря И. Ньютона — его однофамильца Г. Ньютона — в период создания «Начал» жизнь Исаака отличалась исключительным напряжением. Он никогда не отдыхал, не ездил верхом, не играл в кегли, не гулял, почти не принимал гостей, спал не больше пяти часов, старался меньше тратить времени на еду. К счастью для него, он тратил мало времени на лекции, так как студенты их не посещали из-за их скучности.

Я вспоминаю, как меня еще в школьные годы поразили рассказы о необыкновенной уверенности, что успех человека в какой-нибудь области на 95 процентов обязан его способности не покладая рук работать. С тех пор я свято верю в это сам, нашел подтверждение своему убеждению в жизненном опыте моих друзей и стараюсь передать эту веру моим ученикам и коллегам. «Работать хорошо — это значит работать много», — кажется, эти слова принадлежат И. Ньютону (или еще кому-то из гениев).

После выхода в свет «Начал» стиль жизни И. Ньютона постепенно изменился. Он много и плодотворно работал в науке все последующие сорок лет. Но, помимо науки, его жизнь была заполнена и другими заботами. Заметную роль, в частности, играла общественно-политическая деятельность. Широко известен рассказ о том, что, будучи членом парламента, он выступил там только один раз с просьбой закрыть окно, так как из него дуло. Этим хотят, вероятно, подчеркнуть, что И. Ньютон был целиком предан науке и общественно-политическая деятельность для него ничего не значила. Но, по-видимому, он относился серьезно и к этой стороне жизни. Для него «общественная жизнь» началась в 1687 году. В это время король Яков II обратился к Кембриджскому университету с предписанием присвоить бенедиктинскому монаху А. Френсису степень магистра наук. Предписание противоречило закону.

Но властитель, по-видимому, лучше профессоров знал, кто должен быть магистром наук. Не правда ли, знакомая картина, повторявшаяся и позже в течение столетий и, увы, случающаяся сегодня?

Кембриджские ученые заволновались. Делегация, в которую входил и И. Ньютон, должна была явиться в высшую судебную инстанцию Англии — Верховную комиссию. Во главе комиссии находился Дж. Джеффрис — «достойная» личность, наводившая ужас на всю Англию. В «Истории Англии» Т. Маколей пишет: «...редко кто не дрожал перед ним. Даже когда он бывал трезв, свирепый нрав его был довольно страшен. Но по большей части он находился под влиянием винных паров, которые отуманивали его рассудок и разжигали его бешеные страсти».

Делегация университета была настроена пойти на компромисс и при определенных условиях все же присвоить А. Френсису звание магистра. Но И. Ньютон возражал и настоял на своем. Делегаты с ним согласились, и это мнение было сообщено Комиссии. Реакция была быстрой. По решению Комиссии вице-канцлера университета отстранили от должности, другим членам делегации также грозили репрессиями.

К счастью, король Яков II вскоре был свергнут, и при новом короле Вильгельме был выбран новый парламент, членом которого стал И. Ньютон.

В парламенте он примыкал к партии «вигов», сторонников ограниченной власти короля. Во время пребывания в Лондоне он познакомился со многими влиятельными деятелями нового двора. В 1695 году стал смотрителем, а через четыре года директором Монетного двора, где сыграл выдающуюся роль в финансовой реформе, проводившейся в Англии в то время.

Все это говорит об активном участии И. Ньютона в жизни страны, касающейся не только науки. И. Ньютон не был избран в парламент на новых выборах в 1705 году — к этому времени изменилась расстановка политических сил. Однако в последующие годы он посещал королевский двор, где интересовались развитием науки. В 1703 году он стал президентом Лондонского Королевского общества — Английской академии наук. В эту пору ему было 60 лет.

Вплоть до конца своей жизни (он умер, далеко перешагнув за 80-летний рубеж) И. Ньютон мало менялся, оставаясь таким, каким был всю жизнь. Он был не-

высок, плотно сложен, нелюдим и замкнут; отличался большой простотой, внешне ничем не выделялся среди типичных англичан. Надо сказать, что характер его был не из легких.

И еще об одной стороне личности И. Ньютона необходимо упомянуть. Он был религиозным человеком. Об этом иногда почему-то стыдливо умалчивают, особенно в книгах для юношества, или упоминают вскользь, как о малосущественном. Наверное, боятся рассказом об этом нанести ущерб «атеистической пропаганде», хотя замалчивание или искажение особенностей личности великих людей является, мне кажется, большим вредом, который не могут оправдать никакие благие намерения.

Итак, И. Ньютон верил в Бога. Это не было чем-то необычным для того времени. Да и сейчас я лично знаю выдающихся западных физиков, являющихся верующими, но это тема для особого разговора. И. Ньютон занимался теологией и историко-богословскими изысканиями. Он считал, что Бог дал «первотолчок» небесным телам, а затем все движения во Вселенной происходят по строгим физическим законам. Бог лишь время от времени вмешивается в эти движения, как бы подправляя великие «часы Вселенной» в случае «намечающихся неисправностей». В своем представлении о мире И. Ньютон привлекал Бога каждый раз, когда не находил естественнонаучного объяснения какого-либо явления. Так было в случае попыток объяснения происхождения Солнечной системы, объяснения происхождения начальных скоростей движения планет. Так было и в попытках дать объяснение началу человеческой истории.

Теологические соображения И. Ньютон излагал в заключительном разделе «Начал» — главного труда жизни. Он опубликовал также много историко-богословских работ, верил в истинность «священной книги» — Библии, хотя и полагал, что последующие переписывания исказили ее первоначальный текст. Он считал эту книгу результатом «времени чудес», когда Бог непосредственно общался с людьми. Но потом, когда законы бытия были установлены, он устранился от вмешательства в дела мира. И. Ньютон затратил огромные усилия, чтобы «подогнать» исторические события под библейские описания. Усилия эти, конечно, были напрасны с научной точки зрения.

Недостаток фактических знаний о начальном периоде истории Солнечной системы и начальном периоде человеческой истории приводил ученого к изобретению фантастических религиозных решений этих вопросов. Здесь в его творчестве отразилась в какой-то мере ситуация, имевшая место в истории развития всей человеческой культуры, когда религия, вера в чудесные силы была вызвана незнанием объективных законов природы и общества.

Обратимся теперь к тому, что сделал И. Ньютон для понимания природы времени и того, что такое пространство.

Начнем с пространства. Он говорит, что все происходящее во Вселенной совершается в пустом бесконечном пространстве — вместилище всех тел и процессов. По существу, пространство можно представить как гигантскую комнату-лабораторию, в которой стенки, потолок и пол удалены в бесконечность. Вот эту «абсолютную», неограниченную пустоту И. Ньютон называет «абсолютным пространством». Он пишет в «Началах»: «Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным».

Время в физике И. Ньютона представляется как поток длительности, в который вовлечены все процессы — все, все, все. Это — «река времени», она течет независимо ни от чего. «Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью», — говорит он.

Таким образом, картина мира представляется ему ясной и очевидной: в бесконечном пустом пространстве с течением времени происходит движение миров. Процессы во Вселенной могут быть очень сложными, многообразными и запутанными. Но какими бы сложными они ни были, это никак не влияет на бесконечную сцену — пространство и на неизменный поток времени. По И. Ньютону, ни на пространство, ни на время никак нельзя повлиять, поэтому они и называются абсолютными. Неизменность течения времени он подчеркивает такими словами: «Все движения могут ускоряться и замедляться, течение же абсолютного времени изменяться не может. Длительность или продолжительность существования вещей одна и та же, быстры ли движения

(по которым измеряется время), медленны ли или их совсем нет».

Очень образно охарактеризовал ньютоновские представления А. Эйнштейн: «Идея независимого существования пространства и времени может быть выражена следующим образом: «Если бы материя исчезла, то осталось бы только пространство и время (своего рода сцена, на которой разыгрываются физические явления)».

Ну, конечно, скажет читатель, это же все так очевидно, так просто и ясно, подобным образом представляет себе пространство и время каждый!

Такое замечание справедливо. Но только потому, что это представление следует из наблюдений за движениями окружающих нас тел на Земле, из астрономических наблюдений движения гигантских небесных тел и из многочисленных точных физических экспериментов. Именно потому, что ньютоновская физика обобщала весь опыт науки над движением тел, а этот опыт передается нам школьными учебниками, нам кажутся чуть ли не «врожденными» ньютоновские представления о пространстве и времени.

Но не надо забывать, что всякий опыт ограничен. Во времена И. Ньютона, да и много позже, все опыты и наблюдения касались тел, которые движутся, по нашим теперешним понятиям, не очень быстро. Поля тяготения, известные в то время, с нашей сегодняшней точки зрения надо называть слабыми, и, наконец, энергии протекающих процессов также следует считать небольшими по сравнению с теми энергиями, с которыми имеет дело физика сегодняшнего дня. В этих условиях все, что говорил И. Ньютон о пространстве и времени, действительно справедливо, и движение материи не оказывает на них никакого влияния. Но мы увидим далее, что это «безразличие» пространства и времени к тому, что в них происходит, имеет место только при указанных выше ограничениях.

Но об этом несколько позже. А сейчас подчеркнем, что в ньютоновской теории не возникало вопроса о каких-то специальных свойствах или о структуре времени. Время — это однородная «река» без начала и конца, без «истоков» и «стоков», и все события «плывут» в ее потоке. Кроме свойства быть всегда одной и той же длительностью, у времени не было других свойств. «Абсолютное время» едино во всей Вселенной.

В ньютоновской картине мира совершенно ясно, что означают слова «сейчас», «раньше» или «позже» для любых событий во Вселенной, где бы они ни происходили — в одном месте или за сотни миллиардов километров друг от друга. Если все измерять по единому абсолютному времени, то каждому ясно, что означают, например, слова «сейчас в галактике в созвездии Треугольник взорвалась сверхновая звезда». И хотя эта галактика далека и мы увидим свет от этого взрыва очень не скоро, только когда он через многие миллионы лет дойдет до нас, это обстоятельство не мешает нам представить, что взрыв произошел именно «сейчас» по абсолютному единому времени Вселенной.

Определить абсолютную одновременность и единое для всей Вселенной время возможно потому, что согласно ньютоновской теории существуют сигналы, которые передаются от одного места к другому мгновенно, то есть которые распространяются с бесконечно большой скоростью. Примером таких сигналов служит тяготение. Если изменяется расположение тяготеющих масс, то это мгновенно меняет силы тяготения, порожденные этими массами, во всем пространстве.

Вот почему, если где-то произошел сдвиг масс, то сейчас же, мгновенно это сказывается везде в пространстве, и можно, находясь далеко, тут же узнать о случившемся. Понятие «сейчас» является в таком случае абсолютно ясным. Хотя на очень больших расстояниях от тяготеющих звезд, например, силы тяготения становятся слабыми и измерять их трудно, но это, так сказать, уже наши технические трудности. Принципиальной сути дела, принципиальной возможности определить сейчас же, что где-то вдалеке сдвинулись массы, технические трудности измерения, конечно, не меняют.

Говоря о ясности и простоте ньютоновской картины мира, А. Эйнштейн восклицает: «Счастливый Ньютон, счастливое детство науки!.. Природа для него была открытой книгой, которую он читал без усилий. Концепции, которыми он пользовался для уточнения данных опыта, кажутся вытекающими непринужденно из самого опыта, из замечательных экспериментов, заботливо описываемых им со множеством деталей и расставленных по порядку, подобно игрушкам».

Правда, во всей этой ясной картине было небольшое «облачко», которое доставляло И. Ньютону явное беспокойство. Дело в том, что никакими механическими

опытами нельзя определить, покоится ли тело в «абсолютном» пустом пространстве или движется. Вспомним, что все процессы в каюте корабля протекают совершенно одинаково, независимо от того — стоит корабль или движется. Не правда ли, странно: есть абсолютное пространство, а измерить поступательное движение относительно его невозможно! Явно какая-то «некрасивость», неэстетичность теории.

Мы увидим в дальнейшем, что попытки рассеять это облачко «некрасивости» привели в конце концов столетия спустя к фундаментальным открытиям в физике.

Надо подчеркнуть, что во времена И. Ньютона были и другие точки зрения на пространство и время. Особенно интересны воззрения современника И. Ньютона, знаменитого немецкого философа Г. Лейбница. Он занимался не только философией, но и физикой, математикой, историей, юриспруденцией, богословием, дипломатией. Необычайная широта интересов явилась в то же время причиной известной отрывочности его научных результатов. Он открывал новые пути, высказывал пионерские идеи, но не всегда проходил этими новыми путями до конца, не доводил свои исследования до логического завершения во всех подробностях. Он старался примирить самые разные воззрения своего времени, разрешить все споры и разногласия. Г. Лейбниц мечтал примирить науку и религию, католичество и протестантство, стремился сделать науку интернациональной и даже создать всемирный язык. По его инициативе в 1700 году была основана академия наук в Берлине, в которой он стал первым президентом. Он много делал для организации академий в Вене и Дрездене, трижды встречался с Петром I, с которым обсуждал пути развития науки в России и вопросы, связанные с созданием Петербургской Академии наук.

Этот великий ученый не признавал существования абсолютного пространства. Он говорил, что пространство — это только проявление порядка сосуществования предметов и явлений, что в природе никакой абсолютной пустоты без тел нет. Поэтому, считал Г. Лейбниц, пространство относительно. Точно так же он полагал, что нет абсолютного времени, текущего независимо от процессов, а в мире есть только порядок следования явлений — это и есть время.

Как-то во время совместной работы с немецкими коллегами в Центральном институте астрофизики в Пот-



сдаме мы разговорились с профессором Д. Либшером, заместителем директора этого института, об общих свойствах времени в свете открытий черных дыр и их удивительных свойств. Д. Либшер тогда обратил мое внимание на то, насколько близки были некоторые высказывания Г. Лейбница о времени, сделанные три века назад, нашему сегодняшнему пониманию. Особенно примечательно, что он настаивал на том, что никакого абсолютного неизменного времени, введенного в науку И. Ньютоном, нет. Он развил учение об относительности времени, пространства и движения. Мы написали тогда с Д. Либшером статью о времени в черных дырах в журнал «Природа» (1985, № 4) и отсылаем к этой статье тех читателей, кто интересуется более систематическим изложением.

Однако, высказав эти интересные соображения, Г. Лейбниц не пошел дальше, он не мог тогда построить конкретной физической теории, отражающей его философский тезис. Воззрения же И. Ньютона опирались на созданную им строгую физическую теорию. Эта теория явилась основой механики, а механика была научной основой грядущей промышленной революции. Точка зрения И. Ньютона победила.

Профессор Дж. Райс, подытоживая успех ньютоновского учения, писал: «Так ясны, сжаты и значительны были словесные формулировки его законов, так легко переводились они на математический язык, так близки были выводы к фактам, что нет ничего удивительного в том, что весь цивилизованный мир видел в его сочинении высшее достижение человеческого ума в данной области».

Физика И. Ньютона выдержала проверку временем. Сегодняшняя физика раздвинула рамки исследования Вселенной гораздо шире, чем это было возможно в его времена. Намного глубже и многообразнее стали наши представления о пространстве и времени. Но, как уже говорилось, сегодняшняя наука ни в коем случае не отменяет того, что было сделано И. Ньютоном. Для того круга явлений, который был ему доступен, установленные им свойства пространства и времени, законы физических движений остаются справедливыми и сегодня.

Но сегодня нам доступны явления, исследовать которые И. Ньютон не мог, и в этих явлениях проявляются новые, неизвестные тогда законы природы, новые свойства пространства и времени.

В заключение этого раздела приведем «классическое» описание абсолютного ньютоновского времени, данное философом Дж. Локком, с которым И. Ньютон был знаком и на которого его физика оказала огромное влияние. Приводимое ниже описание дано в знаменитом трактате философа «Опыт о человеческом разуме». В этом описании, помимо уже отмеченных выше свойств времени, подчеркивается еще одно — очень важное: математическим образом времени является прямая линия. В отличие от пространства, которое имеет три измерения — длину, ширину и высоту, — время одномерно, это ряд следующих друг за другом событий: «Продолжительность же подобна длине прямой линии, простертой в бесконечность, и не способна создать множественность, разнообразие или форму, но есть общая мера всего сущего, которой одинаково причастны все вещи, пока существуют».

Этот образ времени, как математическая прямая линия, оказался очень важным в дальнейшем развитии наших представлений о мире.



## СВЕТ

Когда мы говорили, что во времена И. Ньютона были известны только движения со сравнительно скромными скоростями, то допускали известную неточность. Конечно, если речь идет о движении физических тел, то сказанное справедливо. Однако человечеству изначально был известен процесс, распространяющийся с поистине фантастической скоростью. Речь идет о свете. Что такое свет?

Еще в Древней Греции высказывались мысли о том, что свет состоит из частичек, испускаемых светящимся телом. Так считал Аристотель. Такой же точки зрения придерживался и сам И. Ньютон. Аристотель полагал скорость распространения света бесконечно большой. Так было принято считать вплоть до середины XVII ве-

ка. Это мнение разделяли великие ученые И. Кеплер, Р. Декарт и другие. Г. Галилей впервые в 1638 году попытался экспериментально определить скорость света. Для этого он поместил фонари на вершинах двух холмов на расстоянии менее одной мили друг от друга. Сначала открывался затвор одного фонаря, и, когда луч света достигал наблюдателя на другом холме, тот открывал затвор своего фонаря. Наблюдатель у первого фонаря должен был измерять время между открытием затвора первого фонаря и увиденной им вспышкой света от второго фонаря. Тем самым измерялось время путешествия света туда и обратно.

Однако никакого запаздывания в приходе света обнаружено не было, и Г. Галилей заключил, что если свет «распространяется и не мгновенно, то необыкновенно быстро». Конечно, тех приспособлений, которые использовал исследователь, было явно недостаточно для измерения столь быстрого движения.

Датский астроном О. Ремер (1644—1710) оказался первым, кто действительно измерил скорость света. Дело обстояло следующим образом. В середине XVII века итальянский астроном Дж. Кассини, прославившийся точными наблюдениями планет с помощью больших телескопов, составил таблицы движения спутников Юпитера, открытых Г. Галилеем. Дальнейшие исследования показали, что предвычисленные моменты попадания ближайшего к Юпитеру спутника Ио в тень, отбрасываемую планетой, не всегда совпадают с данными наблюдений. В те периоды, когда Земля, двигаясь вокруг Солнца, находится дальше всего от Юпитера, моменты затмений запаздывают по сравнению с вычисленными почти на 22 минуты. Когда же наблюдения проводятся при минимальном удалении Земли от Юпитера, запаздывания нет.

Узнав об этом, О. Ремер в 1676 году объяснил задержку тем, что свету надо 22 минуты, чтобы пересечь орбиту Земли. Размер орбиты Земли к тому времени был определен достаточно точно. Поделив поперечник земной орбиты на 22 минуты, О. Ремер получил первую численную оценку скорости света — около 214 000 км/с. Как выяснилось позже, значение скорости, полученное астрономом, примерно на треть меньше истинного ответа.

Так впервые было показано, что свет распространяется в пространстве отнюдь не мгновенно, а с конеч-

ной, хотя и очень большой, скоростью. Только в середине XIX века скорость света была измерена не с помощью астрономических наблюдений, а непосредственно в земных экспериментах. Эти опыты, явившиеся, по существу, сильно усовершенствованными опытами Г. Галилея, были выполнены французскими учеными И. Физо, Л. Фуко и М. Корню. Их эксперименты, проводившиеся в разное время и постепенно совершенствовавшиеся, давали величину скорости света, близкую к 300 000 км/с. В конце 70-х годов прошлого века проблемой измерения скорости света занялся замечательный американский физик-экспериментатор А. Майкельсон (1852—1931). Выполненные им тогда опыты дали для измеряемой скорости 299 910 км/с.

А. Майкельсон продолжал интересоваться этой проблемой всю жизнь. С течением времени становилось все более очевидно, насколько фундаментальную роль играет скорость света в структуре законов, управляющих нашим миром. Заключительная серия опытов по определению скорости света под его руководством была начата в 1929 году. По свидетельству его дочери, в последние дни жизни в мае 1931 года он, всемирно известный физик-экспериментатор, лауреат Нобелевской премии, с нетерпением ждал известий об окончательных результатах экспериментов: «Седьмого мая Пис (сотрудник А. Майкельсона. — И. Н.) пришел к Майкельсону с последними цифрами о новом определении скорости света: 299 774 километра в секунду, — писала дочь. — Лицо Майкельсона осветилось совершенно детской радостью. Зная, что ему недолго осталось жить, он попросил Писа подвинуть к нему кресло и открыть блокнот, чтобы он сразу мог начать диктовать. «Измерение скорости света...». Усилие утомило его и, продиктовав первый параграф, он мирно уснул... Утром 9 мая 1931 года Майкельсон умер».

Эти строчки свидетельствуют, каким был один из многих людей, смыслом существования для которых было познание Вселенной и благодаря которым мы так глубоко проникли в ее тайны.

Приведем современное значение скорости света, определенное с помощью атомных часов, — 299 792, 4562 км/с. Возможная ошибка этого значения не превышает 0,2 м/с.

С именем А. Майкельсона связаны эксперименты со светом, приведшие к возникновению специальной тео-

рии относительности. Эта теория, созданная А. Эйнштейном уже в начале нашего века, позволила взглянуть на свойства пространства и времени с совершенно новой точки зрения.

Но прежде чем рассказать об экспериментах А. Майкельсона, давайте вернемся на столетие назад, когда физики пытались разобраться в природе света.

Впервые идею о том, что свет имеет волновую природу, высказал чешский ученый Ян Марци в 1648 году. Однако последовательная волновая теория света была создана только тридцать лет спустя голландским физиком Христианом Гюйгенсом. Эта теория непринужденно объясняла многочисленные явления отражения света тонкими пластинками, образование радужных пленок и других явлений интерференции, дифракции и поляризации света, которые теория световых частичек — корпускул объясняла лишь при очень искусственных предположениях или же не объясняла вовсе.

Но, рассуждали физики, если свет — это волны, то они должны распространяться в какой-то среде. Такой средой для световых волн считался эфир — тончайшее, всепроникающее, разлитое во всей Вселенной вещество. Подобно тому, как звук является продольно колеблющимися волнами, распространяющимися в воздухе, так и свет, считал Х. Гюйгенс, является продольно колеблющимися волнами, распространяющимися в эфире, заполняющем пространство.

В начале XIX столетия теория световых волн, распространяющихся в мировом эфире, приобретала все большее и большее признание.

Правда, эфир пришлось наделять поразительными свойствами. Эта среда должна была обладать необыкновенно большой упругостью по сравнению с обычной материей, ибо только в этом случае световые колебания в ней могли распространяться с громадной скоростью, которая наблюдалась. С другой стороны, она должна была обладать совершенной текучестью, чтобы небесные тела двигались в ней без малейшего сопротивления, как это также наблюдается в действительности.

Но от подобных трудностей легко отмахивались: ведь эфир, в конце концов, не является «обыкновенной материей». Так, в начале XIX века известный английский ученый Т. Юнг писал: «Кроме форм материи, известных под именем твердых, жидких и газообразных

тел, есть еще полуматериальные формы, производящие явление электричества и магнетизма, а также эфир».

Современному читателю будет небезынтересно узнать, что Т. Юнг, один из создателей волновой теории света, обладал уникальными способностями. Он в два года научился бегло читать, еще через два года читал наизусть многочисленные стихи, в восьмилетнем возрасте уже мастерил физические приборы, затем быстро овладел дифференциальным исчислением, многими языками, среди которых — греческий, арабский, латынь и т. д. Он работал и как врач, и как физик, и как астроном, в конце жизни составлял египетский словарь.

Т. Юнг проделал многочисленные опыты, доказывающие волновую природу света, и дал им исчерпывающее объяснение. Он показал, что световые волны совершают не продольные колебания, как звуковые волны, а поперечные, как колеблются частички жидкости в волнах на поверхности воды.

После трудов Т. Юнга и других ученых волновая природа света считалась доказанной. Теория мирового эфира рассматривалась как одно из самых больших достижений науки XIX века, а существование самого эфира считалось твердо установленным.

В знаменитой энциклопедии Ф. Брокгауза и Е. Ефрона в статье, посвященной эфиру и написанной в самом начале нашего века, с полной убежденностью говорилось, что после того, как опыты доказали справедливость волновой теории света, «...существование эфира, как некоторого носителя энергии там, где мы не имеем материи в обычных нам видах, стало доказанным и эфир перестал быть гипотезой». И далее автор с сожалением замечает: «Тем не менее и до нашего времени (то есть до начала XIX века) встречаются возражения против существования эфира».

Итак, у подавляющего большинства физиков была убежденность в том, что есть среда, заполняющая все пространство. Но тогда «абсолютное пространство» И. Ньютона оказывалось не пустым, а заполненным эфиром. И естественно, возникло желание попытаться измерить скорость движения Земли относительно эфира, а значит, и относительно абсолютного пространства. Если бы это удалось, то абсолютное пространство И. Ньютона перестало бы быть чистой абстракцией, никак себя не проявляющей, а стало бы конкретным предметом изучения.

В 80-х годах прошлого века этой проблемой заинтересовался уже знакомый нам американский физик А. Майкельсон. Он сконструировал совершенный инструмент (его называют «интерферометр Майкельсона»), который, по всем расчетам, должен был решить задачу.

Но как измерить скорость Земли относительно эфира? Ведь набегающий на Землю «эфирный ветер», в противоположность обычному ветру в атмосфере, свободно проходит сквозь тела, не оказывая на них ни малейшего давления. Определение ожидаемого перемещения Земли относительно эфира можно проделать следующим образом.

Будем в «лаборатории», которая движется вместе с Землей сквозь эфир, посылать световые сигналы вдоль направления движения с тем, чтобы они, отразившись от зеркала, возвращались к источнику света. Назовем их сигналами — А. Другие сигналы — Б — будем посылать поперек движения Земли. Сигналы Б, отразившись от другого зеркала, находящегося от источника на таком же расстоянии, как и первое, вновь возвращаются к источнику. Если Земля покоится в эфире, то, очевидно, сигналы А и сигналы Б затратят одинаковое время на путешествие. Если же Земля движется, то, как легко посчитать, время будет несколько разным. Сигналы Б затратят немного меньше времени для путешествия. Зная размеры прибора и время запаздывания, нетрудно вычислить скорость «эфирного ветра», набегающего на Землю из-за ее движения.

В приборе А. Майкельсона путь, проходимый световыми сигналами, был около 22 метров. Если считать, что скорость «эфирного ветра» такая же, как скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца, то время запаздывания сигналов А, по расчетам, должно было быть всего около трех десятитысячных миллионной миллионной доли секунды (три делить на единицу с шестнадцатью нулями).

Прибор был настолько совершенен, что позволял измерить запаздывание еще в сто раз меньше!

Разумеется, Земля движется в эфире не только по околосолнечной орбите, но и перемещается вместе с Солнцем, со всей Солнечной системой. Поэтому направление «эфирного ветра» заранее неизвестно. Но экспериментаторы предусмотрели и это. Они заставляли свой прибор, плавающий в бассейне со ртутью, медлен-



но поворачиваться, меняя ориентацию. Наконец, не исключена была возможность, что орбитальное движение Земли в момент измерения случайно скомпенсируется перемещением Солнца в противоположном направлении. Для исключения этого совпадения опыты повторялись каждые три месяца, когда направление орбитального движения Земли изменялось.

В 1887 году А. Майкельсон и Е. Морли опубликовали результаты серии своих точнейших измерений с этим прибором. Никакого эфирного ветра обнаружено не было. В это время А. Майкельсон писал знаменитому английскому физику Дж. Рэдею: «Эксперименты по обнаружению относительного движения Земли и эфира завершились и результат решительно отрицательный».

Полученный итог озадачил всех. А Майкельсон был явно разочарован. Многие пытались найти какие-либо дефекты в его опытах или дать иные формулировки теории мирового эфира; пытались поставить другие опыты по обнаружению эфирного ветра, в том числе и опыты в горах, где, как полагали некоторые, действие эфирного ветра должно быть заметнее. Но все было тщетно. Любые эксперименты давали отрицательный результат. Большое разочарование А. Майкельсона обернулось самым значительным триумфом его жизни. Отрицательный результат означал, что эфир никак не проявляет себя не только во влиянии на движение небесных тел, что было ясно и раньше, но и во всех опытах со светом. Значит, он является надуманной фикцией!

Но опыты Майкельсона — Морли означали не только сокрушительный удар по теории эфира. Их значение гораздо большее. По существу, в этих опытах было показано, что движение Земли никак не влияет на скорость света: она всегда остается неизменной. И полученный вывод уже не зависел от природы света.

И все же, что такое свет, если он не является колебаниями какой-то мировой среды, какого-то «эфира»?

К концу прошлого века физики уже были готовы к ответу на этот вопрос. Работами М. Фарадея, Дж. Максвелла, Г. Герца было доказано, что свет — это колебания электромагнитного поля, которое может распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн, не нуждаясь в каких-либо средах, любых эфирных. И стало ясно, что нашему «эфиру» в природе ничто не соответствует.

Итак, свет как электромагнитные волны распространяется в пространстве без всякого эфира.

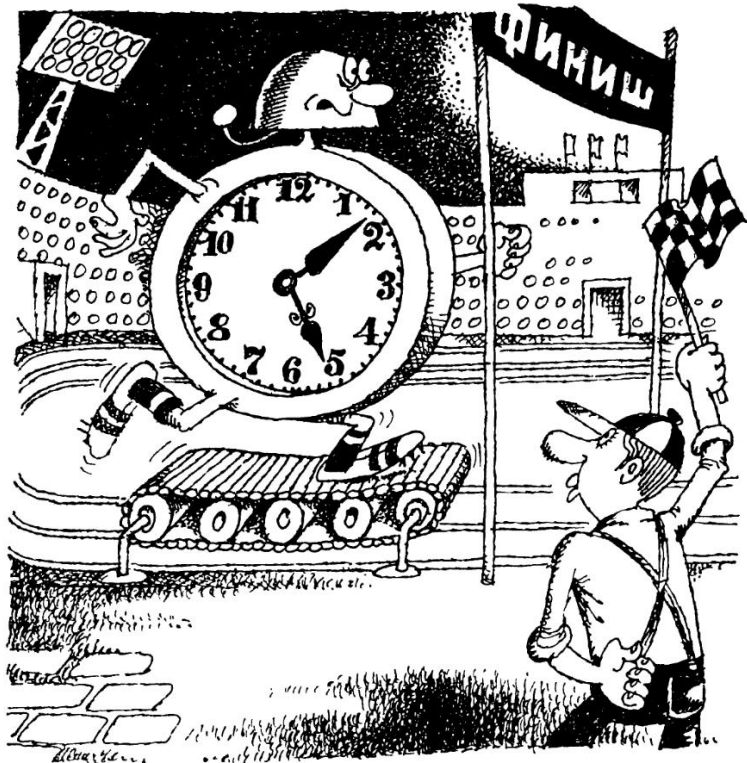
Но опыты Майкельсона — Морли и многочисленные другие показали удивительные свойства света. Оказалось, что, движется ли наблюдатель навстречу световому лучу или убегает в противоположном направлении, скорость луча относительно него не меняется! (Заметим, что уже в наше время использование лазеров позволило установить с точностью до 0,03 миллиметра в секунду, что скорость света не зависит от скорости источников.) Это было тогда совершенно необъяснимо. Ведь ясно же, что если по дороге идет автомобиль со скоростью 60 км/ч, и я, как наблюдатель, еду на другом автомобиле ему навстречу с той же скоростью, то по отношению ко мне первый автомобиль приближается со скоростью 120 км/ч. Это действительно так. В данном примере скорости просто складываются. Но вот если один автомобиль заменить световым сигналом, то ответ будет другим! Скорость сближения со световым сигналом не меняется при изменении движения наблюдателя.

Уже в середине нашего века известный польский физик П. Инфельд писал: «Знаменитый эксперимент Майкельсона — Морли... доказал окончательно, что нет разных скоростей света! Они одинаковы во всех направлениях, и их значение есть  $c$ , скорость света, которая весьма странным образом остается сама собой, всегда постоянной, всегда неизменной.

Для механиста результат катастрофический».

Да, это был сокрушительный удар по старым представлениям. Как оказалось позже (и мы об этом будем говорить в последующих главах), опыты А. Майкельсона продемонстрировали, по существу, неизбежность того, что свойства пространства и времени меняются при движении с очень большими скоростями.

Это открытие, означавшее научную революцию в естествознании, было сделано в 1905 году А. Эйнштейном.



## БЕГ ВРЕМЕНИ МОЖНО ЗАМЕДЛИТЫ

Здесь мы начинаем рассказ о великих достижениях науки, относящихся к нашему, XX веку. Пожалуй, удивительнейшее открытие было сделано в самом начале его А. Эйнштейном, создавшим так называемую теорию относительности. Он показал, что никакого «абсолютного времени», никакой единой неизменной реки времени, совершенно одинаково несущей в себе все события Вселенной, не существует.

«Величайшим открытием Эйнштейна, составившим не только краеугольный камень теории относительности, но и поворотный пункт в общем физическом и философском понимании проблемы пространства и времени, было открытие того, что абсолютного времени в действительности нет», — писал академик А. Александров.

Время, очевидно, проявляет себя как река с неизменной скоростью только в привычных нам условиях сравнительно медленных движений и не очень больших энергий взаимодействий. В других — непривычных — условиях свойства времени иные! Поговорим об этом подробнее.

Открытие относительности времени содержится в созданной А. Эйнштейном в 1905 году теории относительности. Об А. Эйнштейне написано много книг, наверняка больше, чем о каком-либо другом физике. Этому было несколько причин. Мы приведем здесь мнение известных ученых, лично знавших его, и высказывания самого А. Эйнштейна, которые помогут хоть в малой степени создать образ этого человека и выявить истоки его огромной популярности.

Прежде всего, конечно, он был величайшим исследователем, и открытия его касались самых загадочных свойств времени и пространства. Загадочность всегда влечет к себе тех, кто хочет хоть сколько-нибудь серьезно поразмыслить о мире, о сущности бытия (и кто находит в себе силы уделить время для этого в вечной суетолоке жизни). Советский физик-теоретик академик И. Тамм писал о нем: «Эйнштейн, которого Ленин назвал одним из великих преобразователей естествознания, по праву сопоставляется с Ньютоном. Это сопоставление справедливо, по-моему, не только в том смысле, что Ньютон и Эйнштейн знаменуют собой вершины человеческих достижений в познании природы, вершины, доминирующие над 300-летним периодом развития точных наук и непосредственно перекликающиеся друг с другом на этом громадном расстоянии. Эйнштейна и Ньютона можно, по-моему, сопоставить и в том смысле, что Ньютон заложил основы современного естествознания, а творение Эйнштейна — теория относительности — увенчало собой здание классической физики».

К физическим открытиям А. Эйнштейна мы еще вернемся. Но как бы велики ни были эти открытия, они не могут полностью объяснить всемирную славу его, причем слава эта устойчиво держится на протяжении всего XX столетия. Последнее обстоятельство особенно удивительно, так как в наше время переменчивая мода чуть ли не ежедневно порождает новых кумиров.

Все дело еще и в личности А. Эйнштейна. Писатель В. Каверин как-то заметил: «Я выше всего ценю в лю-

дах доброту и мужество. Вероятно, сочетание этих черт и делает человека порядочным. Эти два качества должны определять его нравственную позицию».

Наверное, приведенные слова точно характеризуют суть понятия — хороший человек. Очень нелегко на протяжении жизни выдержать испытания на эти два, казалось бы, таких простых и ясных критерия. Далеко не каждому это удается, а некоторые, увы, к этому и не стремятся.

А. Эйнштейн был добрым и мужественным. Доброта его, по свидетельству хорошо его знавших ученых, исходила от его необыкновенно ясного ума и не была подвержена необдуманному порывам чувств и эмоций. Он помогал очень многим людям. Особенно его заботили судьбы ученых, подвергнутых гонениям в Германии после прихода к власти Гитлера. Польский физик Л. Инфельд пишет: «Никогда в жизни не приходилось мне наблюдать столько доброты, совершенно оторванной от какого-либо чувства. Хотя только физика и законы природы вызывали у Эйнштейна подлинные эмоции, он никогда не отказывал в помощи, если находил, что нужно помочь, и считал, что эта помощь может быть эффективной. Он писал тысячи рекомендательных писем, давал советы сотням людей, часами беседовал с сумасшедшим, семья которого написала Эйнштейну, что он один может помочь больному».

Не правда ли — великий пример доброты и милосердия, которые становятся иногда столь большим дефицитом в нашей часто жестокой жизни! И эта чистота помыслов тем более ценна, потому что исходила от человека, казалось бы, целиком погруженного в формулы и весьма далекого от реальной жизни. Впрочем, он и был бесконечно далек от всей жизненной суеты — той ее части, которая не касалась общечеловеческих ценностей. Он старался как можно меньше сталкиваться с мелочами жизни, экономя время для главного. А. Эйнштейн носил длинные волосы, чтобы реже пользоваться услугами парикмахера, носил кожаную куртку, чтобы подольше не думать о покупке нового пиджака, не носил носков и подтяжек, не пользовался ночными рубашками или пижамами. Погруженный в свои думы, часто ел чисто автоматически, не замечая, что он проглатывает. И был мужествен! Всегда выступал за справедливость, не заботясь о неприятных для него лично последствиях своих поступков. Был вовлечен в антивоен-

ные демонстрации еще во время первой мировой войны. Всю жизнь выступал за мир и единение людей.

А. Эйнштейн, обеспокоенный возможностью создания атомной бомбы гитлеровской Германией, был одним из тех, кто способствовал началу создания этого оружия в США.

Еще до первого взрыва атомной бомбы он, понимая, какую опасность таит в себе это оружие для человечества, выступил за международный контроль над ядерным оружием.

Приведем здесь отрывок из его письма к Л. Инфельду, датированного 1950 годом, но более чем актуально и мудро звучащего сегодня. «Вы знаете, как высоко я ценю стремление к подлинному миру. Мне кажется, что в нынешней ужасной ситуации прямые мероприятия, которые здесь входят в игру, не имеют видов на успех, потому что повсюду пошатнулось доверие к честным намерениям другой стороны. У меня нет никаких прямых предложений. В настоящий момент могут быть приняты в расчет лишь некоторые отдельные шаги разных лагерей, способные постепенно восстановить доверие, без которого нет конкретных путей к сохранению международной безопасности».

Неудивительно, что такой человек вызывал ненависть у людей, являющихся его антиподами. Была создана даже антиэйнштейновская организация, и раздавались подстрекательства к его убийству.

А вот как сам он определял свою нравственную позицию в письме к своему другу, немецкому физику М. Борну: «Что должен делать каждый человек — это давать пример чистоты и иметь мужество серьезно сохранять этические убеждения в обществе циников. С давних пор я стремлюсь поступать таким образом — с переменным успехом».

И сам М. Борн заключает: «...речь идет... о чистоте и о честности в мыслях и чувствах. И в том, и в другом отношении мы чтим Эйнштейна как образец и как учителя».

Хотелось бы отметить еще отношение А. Эйнштейна к своей необычной славе. Он был к ней совершенно равнодушен. Приведем снова свидетельство Л. Инфельда: «Эйнштейн совершенно не сознавал своей славы; он являет собой единственный, пожалуй, пример человека, на которого величайшая слава не оказала никакого воздействия... Медаль Нобелевской премии вместе со мно-

гими другими и десятками почетных дипломов лежала в ящике, в комнате, где их хранила секретарша, и я уверен, что Эйнштейн не имел даже представления, как выглядит эта медаль».

Долгая слава А. Эйнштейна, которая сопутствовала ему при жизни и только возрастает после смерти, объясняется полным соответствием величия этого человека как ученого его стремлению защищать угнетенных и служить прогрессу человечества. Сочетание этих высоких нравственных норм с необыкновенными открытиями таинственных свойств природы, лежащих за пределами наглядного воображения людей, явилось надежным основанием вечной его славы. Необычайно высоко ценил его наш физик, лауреат Ленинской и Нобелевской премий Л. Ландау. Вот как об этом вспоминает В. Гинзбург: «...Ландау имел «шкалу заслуг» в области физики. Шкала была логарифмическая (классу 2 отвечали достижения в 10 раз меньше, чем для класса 1). Из физиков нашего века класс 0,5 имел только Эйнштейн, к классу 1 относились Бор, Дирак, Гейзенберг и ряд других... Ландау, как видно... из сказанного... ставил Эйнштейна выше всех физиков нашего века, и это мнение просто бесспорно».

Закончить небольшое отступление, касающееся личности А. Эйнштейна, я хотел бы двумя его высказываниями. (Это высказывание из письма польскому физiku Л. Инфельду, датированного 1950 годом).

Первое звучит удивительно актуально сегодня. «Раньше человек был, по существу, лишь игрушкой в руках слепых сил; сегодня он, кроме того, стал игрушкой в руках бюрократов. А все же он на это соглашается. Знаете ли Вы изречение Лихтенберга: «Человек не многому учится на опыте, так как каждая новая глупость представляется ему в новом свете».

Второе высказывание характеризует отношение А. Эйнштейна к жизни вообще и особенно подчеркивает гармонию его внутреннего мира, всегда и во всем согласного с естественным ходом процессов, определяемых законами природы: «Жизнь — это возбуждающее и великолепное зрелище. Она мне нравится. Но если бы я узнал, что через три часа должен умереть, это не произвело бы на меня большого впечатления. Я подумал бы о том, как лучше всего использовать оставшиеся три часа. Потом я бы сложил свои бумаги и спокойно лег, чтобы умереть».

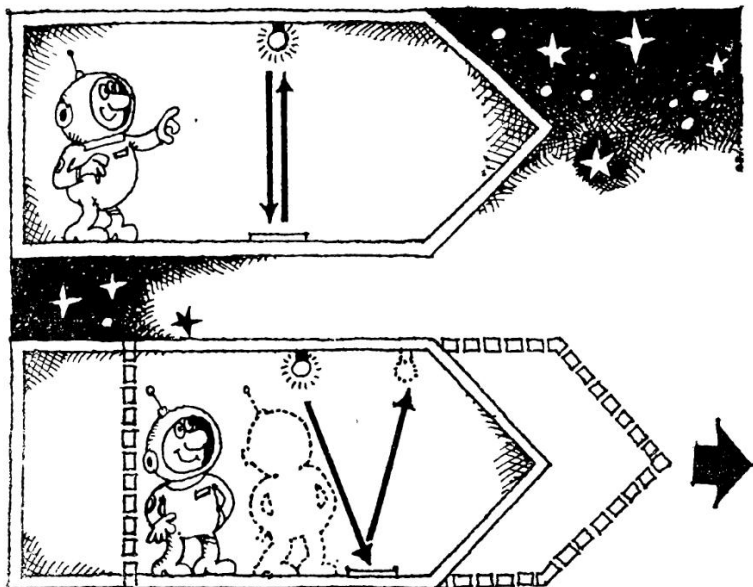


Рис. 1

Таков был создатель теории относительности. Что же утверждает эта теория?

Она основана на двух постулатах, которые являются обобщением опытных фактов. Первый из них гласит, что равномерное поступательное движение никак не сказывается на любых физических явлениях.

Мы сталкивались с этим обстоятельством, когда говорили о галилеевском принципе относительности движения. Но в постулате Эйнштейна есть весьма существенное обобщение. Как читатель помнит, Г. Галилей говорил только о механических явлениях — о движении предметов, брошенных человеком, о полетах мух и т. д. Движение корабля, например, на них никак не сказывалось. А. Эйнштейн же подчеркивает, что не только механические движения, но и любые другие явления, например электромагнитные, в каюте корабля будут протекать также совершенно одинаково, независимо от того, движется корабль или нет.

Второй постулат теории относительности гласит, что скорость света в пустоте всегда одна и та же, не зависит от движения ни источника, ни приемника света и равна (по современным данным)  $c = 2\,999\,792\,456,2$  м/с.



Если первый постулат принимается нами как вполне естественный, то второй вызывает серьезные недоумения.

Действительно, если, скажем, прожектор и наблюдатель покоятся друг относительно друга и наблюдатель измеряет скорость света, идущего от прожектора, как величину  $c$ , то, казалось бы, когда наблюдатель будет двигаться навстречу световому лучу, то по отношению к нему скорость света увеличится и будет больше  $c$ . Но мы теперь уже знаем, что многочисленные опыты и наблюдения показали, что этого не происходит: скорость света остается прежней. И все же порассуждаем еще на эту тему.

Пусть в быстро летящей ракете наблюдатель посылает световой сигнал от потолка к полу, который, отразившись от зеркала на полу, возвращается к потолку (рис. 1). Наблюдатель в ракете видит, что этот луч идет туда и обратно точно по одному и тому же пути. Неподвижный же наблюдатель вне ракеты видит, что луч света, летящий от потолка к полу и обратно, перемещаясь вместе с ракетой, совершает V-образный путь, который больше, чем только «вниз и вверх» для наблюдателя в ракете. Значит, и скорость светового сигнала с точки зрения внешнего наблюдателя должна быть больше, чем для наблюдателя в ракете.

Но стоп! Вспомним, что скорость сигнала есть отношение длины пути ко времени его прохождения. Путь для внешнего наблюдателя больше, это так! Значит, скорость будет тоже больше? Однако это было бы так, если время прохождения луча для обоих наблюдателей было бы одинаковым! — это последнее кажется очевидным. Ведь в обоих случаях это время распространения сигнала «туда и назад». Да, конечно, но только, если мы считаем, что для обоих наблюдателей — и для неподвижного и для движущегося — время течет одинаково! Но какие в этом могут быть сомнения? Ведь это же время — общая для всех длительность.

В этом и заключается загвоздка. Мы молчаливо считаем, что время для обоих наблюдателей течет одинаково. Однако что, собственно, заставляет нас так считать?

Так заставляет нас считать опыт. Для всех ситуаций, известных из практики, мы знаем, что часы тикают в одинаковом темпе (если они исправны) независимо от движения, иными словами, что время течет

одинаково. По окончании путешествия и неподвижные часы, и те, которые двигались, покажут одинаковое время. Но это только потому, что мы имеем дело с медленными движениями! Опыты Майкельсона — Морли, а затем и других были первым указанием на то, что при быстрых движениях вывод об одинаковом темпе течения времени будет неверен!

А. Эйнштейн был первым, кто ясно осознал этот факт. Сделать это было очень трудно. Надо было не только полностью разобраться во всех результатах многочисленных экспериментов, но самое главное — полностью отрешиться от прежних стереотипов мышления, которые складывались в науке длительное время и казались незыблемыми.

Вывод теории Эйнштейна состоит в следующем. Если какой-либо наблюдатель изучает процессы в быстродвижущейся по отношению к нему «лаборатории», то эти процессы текут медленнее, чем такие же процессы в его «лаборатории». Например, на быстролетающей ракете медленнее тикают часы, медленнее стучит сердце космонавта, медленнее текут в его теле все биохимические процессы, медленнее колеблются электроны в атомах и т. д. Все, абсолютно все процессы замедляют свой темп, а это значит, что медленнее течет само время. Замедление времени тем больше, чем больше скорость ракеты. Если скорость ракеты приближается к скорости света, то темп протекания времени приближается к нулю (к остановке времени) и все процессы становятся бесконечно долгими. При скоростях малых (скажем, при наших повседневных земных) по сравнению со скоростью света замедление времени столь ничтожно, что совершенно незаметно.

У читателя может закрасться сомнение, что указанное замедление процессов является, так сказать, только видимым, именно когда наблюдатель рассматривает быстро проносящуюся мимо него ракету. Ведь ракета в разные моменты времени находится от наблюдателя на разных расстояниях, и свет, который несет наблюдателю картину процессов на ракете, покидает ракету в разные моменты времени и проходит разный путь до наблюдателя, затрачивая тем самым разное время. Может быть, все дело в том, что световые сигналы по-разному запаздывают, достигая наблюдателя, и это искажает истинную картину происходящего на ракете?!

Нет, все сказанное о замедлении времени относится

к действительному темпу процессов с учетом разного запаздывания световых сигналов, идущих к наблюдателю. Иными словами, это истинное замедление всего происходящего на ракете с точки зрения внешнего наблюдателя.

Наверное, для тех, кто впервые слышит о замедлении времени, с этим фактом очень трудно примириться. Я, например, начал пытаться в этом разобраться, когда учился в пятом классе, и мне потребовались годы, чтобы до конца понять, в чем здесь дело. О трудности восприятия теории относительности мы еще поговорим.

Спрашивается, а существуют какие-либо прямо наблюдаемые факты, свидетельствующие о том, что время на быстродвижущемся теле течет медленно? Да, такие факты существуют, и они, конечно, являются самым веским аргументом в пользу правильности этого вывода теории относительности.

Мы уже подчеркивали, что замедление времени становится заметным только при приближении скорости тела к скорости света. Для разгона больших тел до таких скоростей потребовались бы огромные энергии, и пока в земных условиях это неосуществимо. Иное дело — элементарные частицы. Физики уже давно научились разгонять их до субсветовых скоростей на специальных установках, называемых ускорителями. Изучение процессов с быстролетающими частицами полностью подтвердило выводы теории относительности.

Вот что происходило в одном из экспериментов с частицами, носящими название положительно заряженных пи-мезонов. Эти частицы неустойчивы и после рождения в определенных процессах быстро самопроизвольно распадаются. Если рождается много таких частиц и все они движутся с малыми скоростями, то всего через семнадцать миллиардных долей секунды половина их распадается. Это так называемое время полураспада. Еще через семнадцать миллиардных секунды распадается половина оставшихся частиц и т. д.

Если же пи-мезоны разогнать до скорости, составляющей девять десятых скорости света, то течение времени на них замедлится и частицы должны жить по нашим часам дольше. Это действительно наблюдалось в реальном эксперименте. Время полураспада таких быстролетающих частиц оказывается равным тридцати девяти миллиардным долей секунды — более чем в два раза

больше, чем для покоящихся частиц. Результат полностью согласуется с выводами теории.

Еще один пример. В нашу атмосферу из космического пространства постоянно попадают частицы, имеющие большую кинетическую энергию. Такие частицы называют космическими лучами. При взаимодействии этих космических лучей с частицами верхних слоев атмосферы рождаются разные новые элементарные частицы. Среди них есть так называемые мю-мезоны. Это тоже очень недолговечные частицы. Они живут всего около двух миллионных долей секунды. Такова продолжительность их жизни, когда частицы покоятся относительно наблюдателя. При рождении в верхней атмосфере мю-мезоны могут иметь скорость, равную девяносто девяти процентам скорости света. Если бы время на них не замедлялось, то за свою продолжительность жизни — две миллионные доли секунды — они могли бы пролетать всего около шестисот метров. Измерения же показывают, что они пролетают до распада многие километры! Это происходит потому, что время на столь быстролетающих частицах течет примерно в семь раз медленнее, и «для нас» они живут во столько же раз дольше, успевая пройти такой большой путь.

Приведем еще более разительный пример. Среди частиц космических лучей встречаются протоны (ядра атомов водорода), летящие столь быстро, что скорости их отличаются от скорости света на ничтожную величину — только в двадцатой (!) значащей цифре. Время на них идет в десять миллиардов раз медленнее, чем у нас. Если по нашим часам такой протон тратит около ста тысяч лет, чтобы пересечь нашу звездную систему — Галактику, то по своим «собственным часам», то есть по своему времени, он пересекает Галактику всего за... пять минут!

Ну хорошо, скажет читатель, это все касается мельчайших частиц вещества. А наблюдается ли где-либо в природе заметное замедление времени при движении макроскопических тел?

Да, и такие явления известны. Они наблюдаются астрономами. В конце 70-х годов группа американских астрономов во главе с Б. Маргоном обнаружила сверхбыстрые выбросы струй газовых масс из двойной звездной системы, носящей название SS 433. Звезды в такой системе обращаются вокруг общего центра масс, связанные силой взаимного тяготения. Система нахо-

дится от нас на расстоянии около десяти тысяч световых лет. (Один световой год — расстояние, проходимое светом за год и равное приблизительно десяти тысячам миллиардов километров.) Вследствие сложных процессов, о которых мы здесь говорить не будем, из системы истекают в противоположные стороны две мощных газовых струи со скоростями около восьмидесяти тысяч километров в секунду каждая. Это почти треть скорости света! Чтобы представить мощность потоков в SS 433, приведем такую цифру: за секунду в струях выбрасывается миллиард миллиардов тонн газа.

При столь большой скорости согласно формулам теории относительности время в газовых струях должно течь на несколько процентов медленнее, чем у нас. Конечно, это не такое сильное замедление времени, которое было в случае быстрых элементарных частиц, но оно все же заметно и, конечно, с легкостью может быть измерено. Струи истекающего газа состоят главным образом из нагретого водорода. В земных лабораториях нагретый водород излучает электромагнитные волны строго определенной частоты. Если изучать излучение водорода с помощью спектроскопа, то видно, что водородный газ светит в отдельных линиях определенного цвета, соответствующего частотам колебаний испускающих свет электронов.

При замедлении времени в быстролетающих струях должна уменьшаться частота испускаемых водородом спектральных линий, свет должен краснеть. Это в действительности и наблюдается.

Заметим, что изменение частоты света, то есть его цвета, происходит при движении источника относительно наблюдателя и по другой причине, не связанной специально с теорией относительности. Это известный всем со школьной скамьи эффект Доплера: когда источник движется на нас, то частота световых волн, воспринимаемых нами, увеличивается, цвет света становится более фиолетовым. При удалении источника свет краснеет. Разумеется, эти эффекты никак не связаны с замедлением течения времени.

В случае рассматриваемой здесь звездной системы SS 433 эффект Доплера также наблюдается. Но система эта так устроена, что направление выброса струй все время меняется в пространстве с периодом в 164 дня. Дважды за этот период выброс струй происходит точно поперек нашего луча зрения, в картинной

плоскости. В эти моменты газ в струях не приближается к нам и не удаляется от нас и никакого изменения частоты из-за обычного эффекта Доплера не происходит. (Мы не рассматриваем здесь сравнительно небольшую скорость движения всей системы SS 433 по отношению к нам.) Вот в эти моменты и наблюдается астрономами покраснение спектральных линий водорода, вызванное в чистом виде замедлением времени из-за быстрого движения.

Скажем еще, что замедление времени из-за достаточно быстрого движения было измерено с помощью очень точных атомных часов, помещенных на обычном рейсовом пассажирском реактивном самолете. Правда, при этом приходилось учитывать и другие эффекты, влияющие на ход часов.

Можно подвести итог. Как бы ни казался парадоксальным вывод А. Эйнштейна о том, что на быстро движущемся теле время течет медленнее с точки зрения внешнего наблюдателя (относительно которого происходит движение), этот вывод надежно проверен прямыми экспериментами, и никаких сомнений в нем быть не может.

Итак, время относительно. Абсолютного времени не существует.

Мы уже видели, что скорость света играет в теории Эйнштейна особую роль. С этой скоростью распространяются в пустоте все электромагнитные колебания любой частоты: и самые низкочастотные радиоволны, и видимый свет, и высокочастотные рентгеновские лучи, и ультражесткое гамма-излучение. По отношению к любому наблюдателю эта скорость остается одной и той же.

Теория утверждает, что скорость света самая большая из всех возможных в природе скоростей. Как метко выразился советский астрофизик А. Чернин: «Это абсолютный рекорд скорости».

Но что мешает нам разогнать тело до скорости больше скорости света?

Давайте проследим, что будет происходить с телом, если на него будет действовать постоянная сила, разгоняющая его до все большей и большей скорости. И. Ньютон считал, что если сила будет действовать достаточно долго, то тело приобретет сколь угодно большую скорость. Но по теории Эйнштейна с ростом скорости будет расти и масса тела, служащая мерой инер-

ции, то есть мерой «сопротивляемости» тела действующей силе. Этот рост массы является следствием замечательного открытия Эйнштейном эквивалентности массы и энергии. С ростом скорости растет и кинетическая энергия тела, а значит, растет и его масса. Рост массы тела приводит к тому, что действующей на него силе все труднее увеличивать скорость. С приближением же ее к световой его масса растет неограниченно, стремится к бесконечности, и поэтому никакая сила не может заставить скорость тела перевалить световой барьер. Световая скорость является предельной для распространения любых полей и вообще для передачи любой информации.

Познакомимся теперь с еще одной особенностью времени, открытой А. Эйнштейном. Представим себе поезд, движущийся с очень большой скоростью. Один физик стоит посередине длинного открытого вагона-платформы в составе этого поезда. Другой физик стоит на земле, и поезд проносится мимо него. На передней и задней стенках вагона-платформы укреплены лампочки, которые можно зажигать. Устроим эксперимент с зажиганием лампочек так, что свет от обеих лампочек одновременно достигает «поездного» физика, как раз когда он проносится мимо «наземного» физика. И «поездной» и «наземный» физики видят обе вспышки одновременно. Какие выводы они сделают о моментах зажигания лампочек?

«Поездной» физик скажет: «Я стою посередине платформы, расстояние до обеих лампочек одинаково. Увидел я вспышки одновременно, и так как скорость света всегда одинакова и равна  $c$ , то, очевидно, лампочки вспыхнули одновременно».

Заключение «земного» физика будет иным: «Я увидел вспышки одновременно, когда рядом со мной была середина платформы с «поездным» физиком и лампочки в этот момент находились от меня на одинаковом расстоянии. Но свету надо некоторое время, чтобы дойти от лампочек до меня, а поезд движется. И значит, когда свет покидал лампочки, задняя (по ходу поезда) лампочка была от меня дальше, чем передняя. Поэтому свет прошел от них неравный путь, от задней он прошел больший путь. Скорость света всегда постоянна и равна  $c$ . Я увидел обе вспышки одновременно, поэтому от задней лампочки свет должен быть испущен рань-

ше, чем от передней. Вспышки произошли одновременно».

Мы видим: то, что происходит одновременно на быстро движущемся теле, одновременно для физика на земле.

Казалось бы, такое простое и ясное понятие, как одновременность двух событий, оказывается вовсе не столь очевидным. Нет абсолютной одновременности. Это понятие относительно и зависит от движения тела — «лаборатории», по отношению к которой рассматриваются события, как говорят физики — зависит от системы отсчета.

Если события одновременные в некоторой системе отсчета происходят недалеко друг от друга в пространстве, то даже сравнительно быстрые движения делают их неодновременными лишь на ничтожный промежуток времени. Поэтому в обыденной жизни нам кажется, что одновременность абсолютна, очевидна, ни от каких движений не зависит. И утверждение, например, что одновременно с моментом, когда часы на площади показывали двенадцать часов, от перрона отошел поезд, звучит в практическом смысле одинаково и абсолютно понятно и для наблюдателя — человека, стоящего невдалеке на платформе вокзала, и для едущего на автомашине на привокзальной площади. Иное дело для событий, далеко разнесенных в пространстве и по отношению к быстро движущимся друг относительно друга наблюдателям. Так, уже приводившееся нами ранее утверждение, сделанное человеком на Земле: «Сегодня в полдень в Галактике в созвездии Треугольник взорвалась сверхновая звезда», — может оказаться совершенно неверным для космонавта на быстро летящей фотонной ракете.

Теория относительности установила, что понятия «сейчас», «раньше» и «позже» имеют простой смысл только для событий, происходящих недалеко друг от друга. Для событий, происходящих на больших расстояниях, понятие «раньше» и «позже» однозначны лишь в случае, когда сигнал, идущий со скоростью света, успел дойти от одного события до места, где произошло второе событие. Если же сигнал не успел дойти, то соотношение «раньше» — «позже» неоднозначно и зависит от состояния движения наблюдателя. То, что «раньше» для одного наблюдателя, может быть «позже» для другого, движущегося относительно первого. Такие собы-



тия не могут быть причинно связанными, не могут влиять друг на друга. В противном случае событие, которое было причиной для другого события (а значит, произошло раньше его), с точки зрения некоторого наблюдателя оказалось бы произошедшим позже своего следствия.

Подобные свойства времени теснейшим образом связаны с тем, что скорость света в пустоте всегда постоянна, не зависит от движения наблюдателя, и эта скорость предельно большая. Ничто в природе не может двигаться быстрее.

Ну и, наконец, упомянем еще об одном выводе теории относительности.

Быстро движущиеся тела сокращаются в направлении своего движения, оставаясь неизменными в поперечнике. Это сокращение совершенно незаметно при медленных движениях и велико при скоростях, приближающихся к световым.

Вот так кардинально меняет наши представления о пространстве и времени теория относительности.

Здесь, наверное, невольно возникает вопрос: «А что будет чувствовать космонавт на очень быстро летящей ракете? Как он отнесется к тем изменениям в течение времени и длине тел, которые фиксирует внешний наблюдатель?»

Ответ очевиден: космонавт ничего не заметит! В самом деле, ведь с точки зрения внешнего наблюдателя одинаково замедлились и биение пульса космонавта, и тикание его часов, и все другие процессы. Значит, процессы биения пульса и тикания часов относительно друг друга текут в прежнем темпе. Скажем, за секунду по часам его сердце по-прежнему делает один удар. В потоке его времени (называемого «собственным» временем) все по-прежнему течет, как и при покоящейся ракете. Только этот поток собственного времени изменил свой темп по отношению к внешнему наблюдателю. Оказалось, что «река времени» не везде течет с неизменной скоростью.

Не заметит космонавт и сокращение продольного размера своей летящей ракеты. Действительно, любой метр, которым он захочет измерить длину, также сократится, и этих сокращенных метров уложится вдоль сокращенной ракеты столько же, сколько было до разгона ракеты.

Итак, космонавт ничего не обнаружил! Он никак не

будет чувствовать своей скорости. Такой вывод, конечно, полностью согласуется с первым постулатом теории относительности о том, что внутри быстролетающей ракеты с постоянной скоростью все протекает так же, как в покоящейся.

Так как равномерное движение относительно и никакого абсолютного движения нет, то космонавт с полным правом может считать себя покоящимся, а наблюдателя на Земле летящим в противоположную сторону. И космонавт будет считать, что на Земле время течет медленнее, чем на его ракете. «Но как же так? — восклицает читатель, впервые знакомящийся с относительностью времени или основательно подзабывший, что по этому поводу говорилось в школе. — Земной наблюдатель говорит, что время течет медленнее у космонавта, а космонавт считает — наоборот. А что же на самом деле? Допустим, что время может замедляться, ладно, хотя это и трудно представить. Так, где все же оно замедлилось — у космонавта или у земного наблюдателя? Или, как говорится в знаменитой книжке А. Мили «Винни Пух и все-все-все»: «Хвост или есть, или его нет. По-моему, тут нельзя ошибиться». Должен же быть однозначный ответ на этот вопрос!»

Нет, не должен, как это ни странно звучит. Впрочем, понять это не так сложно. Для сравнения вспомним рассуждения Г. Галилея о падении тел в каюте движущегося корабля. Для человека в каюте тело, выпущенное из рук, падает по прямой к его ногам. Для внешнего наблюдателя падающее тело перемещается вместе с кораблем, и его траектория — парабола. Можно спросить: «А на самом деле тело движется по прямой или по параболе?» Очевидно, вопрос о том, какова форма траектории «на самом деле», бессмыслен. Траектория тела зависит от того, по отношению к чему она определяется. Для человека в каюте она «на самом деле» прямая, для внешнего наблюдателя она «на самом деле» парабола. И никакого противоречия здесь нет.

Точно так же и в случае замедления времени. Для человека на земле время у космонавта «на самом деле» течет медленнее. Для космонавта, наоборот, «на самом деле» медленнее проходят все события на Земле. И никакого противоречия здесь точно так же нет. Это и есть теория относительности.

Конечно, «переварить» все это нелегко. Но теория Эйнштейна является неизбежным следствием опытных

фактов. В таких случаях полезно вспомнить высказывание Шерлока Холмса: «Когда вы отбросите все невозможное, то, что останется, пусть самое невероятное, и будет правдой» (Конан Дойл. «Знак Четырех»).

Те из читателей, кто испытывает трудность в усвоении до полной ясности сказанного, пусть не огорчаются. После открытия А. Эйнштейна многие даже очень крупные ученые далеко не сразу усвоили его теорию. А ученые «средние» и тем более люди далекие от физики и подавно с огромным трудом воспринимали идеи, буквально перевернувшие привычные представления. Многие пытались найти в теории ошибки и противоречия.

Такие попытки продолжались десятилетия. Так, четверть века спустя после создания теории в 1931 году в Лейпциге вышла книга «Сто авторов против Эйнштейна». В этой книге сто экспертов полностью отрицали теорию относительности и ее выводы. Говорят, что, узнав про книгу, А. Эйнштейн, улыбаясь и как всегда флегматично в таких случаях, проронил: «Если бы я был не прав, хватило бы и одного возражающего специалиста».

Конечно, никаких противоречий в выводах А. Эйнштейна нет. Для серьезных ученых все сомнения и возражения против теории относительности давно стали достоянием истории. Сама теория лежит в основании всей современной физики. Ее используют при создании гигантских ускорителей элементарных частиц, на ее основе создаются атомные электростанции, она испытана и такими страшными опытами, как взрывы ядерного оружия.

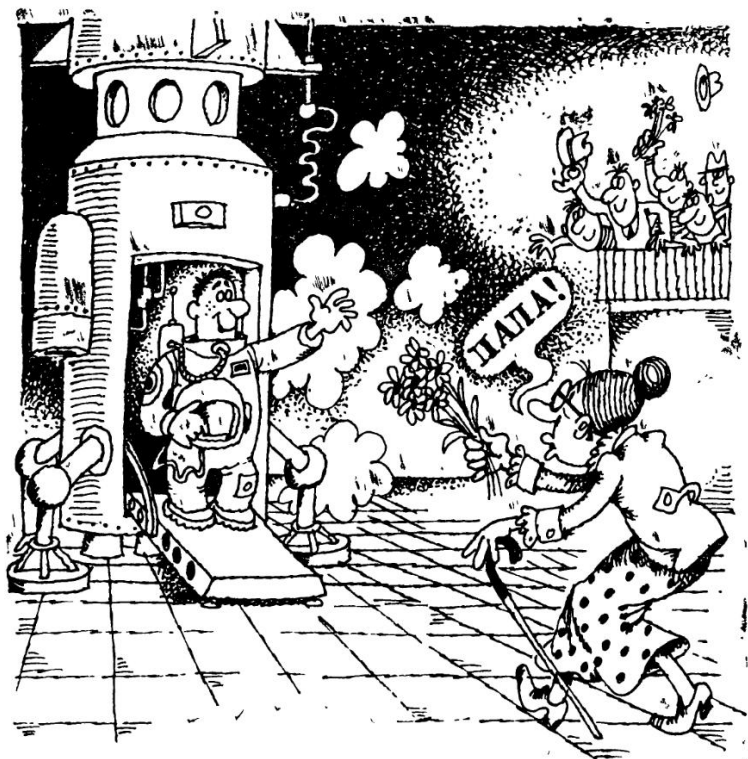
Надо сказать, что современные школьники и студенты обычно без особого труда усваивают теорию Эйнштейна, делая это гораздо легче, чем специалисты начала века или даже люди моего поколения, родившиеся ближе к середине нашего столетия. Причина здесь ясна — к началу нового, XXI века изменился сам стиль научного мышления.

Я уже говорил, что в эпохи, когда в науке зреют новые важные идеи, обычно разные ученые с разных точек зрения близко подходят к формулировке открываемых закономерностей, выясняют их отдельные свойства. Но обычно кто-то один гениальный дает окончательную формулировку нового. Так было и с созданием теории относительности. Отдельные формулы ее математическо-

го аппарата писались в конце 80-х годов прошлого столетия. Близко к формулировке теории подошли нидерландский физик Х. Лоренц и французский ученый А. Пуанкаре. Но только А. Эйнштейн сделал самый трудный и решительный шаг, изменив представления о пространстве и времени. Х. Лоренц, вспоминая в 1912 году о своих попытках еще до 1905 года (года опубликования работы Эйнштейна) разрешить противоречия, следующие из данных экспериментов, писал: «Можно заметить, что в этой статье (опубликованной в 1904 г. — *И. Н.*) мне не удалось в полной мере получить формулы преобразования теории относительности Эйнштейна... С этим обстоятельством связана беспомощность некоторых дальнейших рассуждений в этой работе.

Заслуга Эйнштейна состоит в том, что он первый высказал принцип относительности в виде всеобщего, строго и точно действующего закона».

Приведем еще высказывание известного американского физика-экспериментатора Р. Милликена, весьма ясно показывающее, почему открытие было сделано А. Эйнштейном: «Именно здесь проявилась характерная для Эйнштейна смелость подхода, ибо отличительной чертой современного научного мышления является тот факт, что оно начинает с отбрасывания всех априорных представлений о природе реальности (или о законченной картине строения Вселенной), характерных практически для всей греческой философии, а также для всего средневекового мышления; вместо этого современное научное мышление берет в качестве отправного пункта прочно установленные, тщательно проверенные экспериментальные факты».



## МАШИНА ВРЕМЕНИ

Кто из нас не зачитывался в юности знаменитой повестью Г. Уэллса «Машина времени». Герой этой повести отправляется на машине, передвигающейся во времени, в далекое будущее нашей Земли. На этой машине, по замыслу писателя-фантаста, можно также перемещаться и в прошлое.

О возможности свободно двигаться во времени и в будущее и в прошлое написано немало произведений. Наверное, авторы ни в малейшей степени не сомневались, что их вымысел относится к области чистой фантазии, и рассматривали его только как литературный прием.

Весь опыт человечества и опыт науки заставлял считать, что путешествия во времени невозможны. В про-

странстве можно двигаться. Скажем, на Земле можно путешествовать в разных направлениях, можно и возвращаться на исходное место. Но во времени по своему желанию, казалось бы, двигаться мы не можем и вынуждены пассивно «плыть» вместе с его потоком. Этим свойством, как считалось, время кардинально отличается от пространства.

Открытие А. Эйнштейном в 1905 году удивительных свойств времени показало, что убежденность в том, что мы являемся «пленниками» реки времени и не можем в ней передвигаться, является всего лишь плодом нашего незнания, следствием ограниченных возможностей предыдущей истории человечества. Так что ж, во времени можно двигаться?

И да и нет! Теория Эйнштейна решила эту проблему, так сказать, только наполовину. Было показано, что по реке времени можно передвигаться лишь «вниз по течению» — можно двигаться в будущее, обгоняя само течение. Но обратной дороги — «вверх по течению», в прошлое — теория не указывала. Как же можно попасть в будущее, обогнать время?

Герой Уэллса для этого садился в машину времени, нажимал рычаг, машина начинала трястись и, не двигаясь с места, вместе с героем исчезала из настоящего, переносясь в другие эпохи.

Теория относительности показала, что так путешествовать во времени нельзя. Для этого обязательно надо передвигаться в пространстве. Чтобы попасть в будущее планеты, надо сесть в упоминавшуюся уже фотонную ракету, разогнать ее до скорости, близкой к скорости света, полетать в космосе некоторое время, скажем год, с этой большой скоростью и затем вернуться на Землю. Время на быстролетающей ракете будет течь медленнее с точки зрения людей, оставшихся на Земле. Поэтому после возвращения ракеты окажется, что у землян пройдет больше времени, чем у экипажа ракеты, а значит, космонавты перенесутся в будущее нашей планеты.

Французский физик П. Ланжевен в 1911 году рассматривал следующий мысленный эксперимент. Один из братьев-близнецов отправляется на ракете в космос, а другой остается на Земле. После возвращения брат-космонавт окажется моложе своего брата-близнеца, жившего все время на Земле. Это и есть для космонавта зримый результат путешествия в будущее Земли.

Правда, некоторые специалисты высказывали сомне-

ния в такой возможности. Дело в том, говорили они, что теория Эйнштейна утверждает относительность движения. Следовательно, космонавт может считать себя неподвижным, а Землю и людей движущимися в противоположном направлении с той же скоростью. С его точки зрения, часы на Земле идут в течение полета медленнее его часов. Так что, по его мнению, после возвращения должен быть моложе его брат-близнец на Земле.

Казалось бы, получается парадокс. Брат на Земле считает, что он должен быть старше по завершении полета ракеты, а космонавт наоборот. Где же истина? Ведь по возвращении братья могут взглянуть друг на друга и сразу понять, кто из них старше. Так возник знаменитый «парадокс близнецов».

Хотя специалисты быстро разобрались, в чем здесь дело, и установили истину, но для непосвященных еще долго слухи о «парадоксе близнецов» означали крушение теории относительности. Увы, подобные «рассуждения» встречаются еще и сегодня. Так в чем же дело и кто окажется моложе?

Все дело в том, что рассуждения о ходе часов в том виде, как мы о них говорили, применимы только с точки зрения «лабораторий» и вообще тел, находящихся в движении по инерции. Как говорят физики, формулы Эйнштейна (в написанном им виде) справедливы только в «инерциальной системе отсчета». Лишь в случае, когда корабль или ракета движутся без ускорений или торможений, человек в них не замечает движения. Если же ракета, например, разгоняется, то космонавт, конечно же, это почувствует. Все сегодня знают, что такое перегрузки для космонавтов при старте и торможении космических кораблей.

Теперь понятно, что человек на Земле и космонавт на ракете вовсе не находятся в равноправном положении. Землю можно считать приближенно инерциальной системой. Для космического же путешественника, чтобы вернуться снова на родную планету после длительного и далекого полета, необходимо затормозить корабль, потом разогнать его снова в сторону Земли и опять затормозить при подлете к планете. Во время торможений и ускорений корабль движется, конечно, не по инерции и космонавт ощущает перегрузки. В эти периоды движения формулы, написанные для инерциальных систем, в «лаборатории»-корабле неприменимы и космонавт не вправе считать, что часы на Земле идут медленнее.

Мы не будем здесь подробнее вдаваться в этот вопрос. Специалисты умеют рассчитывать, как протекают процессы, и в том случае, когда «лаборатория» движется ускоренно. Приведем окончательное заключение физиков. Они считают, никакого противоречия нет. Правильным был вывод с точки зрения наблюдателя на Земле, так как его система все время инерциальная (с достаточной точностью), а ракета ускорялась. Итак, космонавт, вернувшись на Землю, попадет в будущее. Чем быстрее двигалась ракета и чем дольше продолжался полет, тем в более отдаленное будущее попадет космонавт.

Эта возможность попасть в будущее буквально завораживает всех, кто впервые об этом узнает, знакомясь с теорией относительности.

Когда я был студентом третьего курса отделения астрономии Московского университета, то среди тем курсовых работ, предложенных нам, случайно увидел задачу о «парадоксе близнецов». Руководителем темы был (как я узнал позже) известный советский космолог А. Зельманов.

В те годы теория относительности не входила еще в школьный курс. Она считалась очень трудной и непонятной. Но ко времени, о котором идет речь, я уже прочитал несколько популярных книжек об этой теории, и мне казалось, что я имею представление о «парадоксе близнецов». Правда, я обстоятельно не знал еще самой теории и, помня о «недоброй» ее славе как сверхсложной для понимания, сомневался, что смогу сам что-нибудь рассчитать. Но таинственность привела меня все же к А. Зельманову.

Это был мягкий и деликатный человек. Он обладал глубокими знаниями и работал в стиле, скорее характерном для «старой школы» конца прошлого века. Имеется в виду неспешный, вдумчивый, педантичный стиль, когда идеи долго обдумываются, расчеты проделяются весьма тщательно, много раз перепроверяются, а статьи годами (!) готовятся к печати. Как это было непохоже на стремительный (под стать всей жизни) стиль современной науки!

А. Зельманов к тому времени уже испытал на себе волюнтаризм решений людей, абсолютно некомпетентных в науке, но определявших в ту пору ее судьбу. Космологию — науку о строении всей Вселенной и изучающую, в частности, расширение Вселенной (о котором



мы еще будем говорить), было велено считать лженаукой, якобы противоречившей диалектическому материализму. А. Зельманов в начале 50-х годов был уволен с работы из Государственного Астрономического института имени П. К. Штернберга. К тому времени, как мы встретились во второй половине 50-х годов, ситуация уже изменилась и он опять работал в институте.

Когда я пришел к нему, он обстоятельно объяснил, что мне предстоит рассчитать, как будут идти часы на Земле с точки зрения космонавта, как он будет видеть из иллюминатора быстро летящего корабля окружающую Вселенную. Я мало что понял с первого раза, и с вниманием стал изучать знаменитый учебник теоретической физики Л. Ландау и Е. Лифшица, рекомендованный А. Зельмановым для подготовки к решению поставленной им задачи.

По прошествии пары недель мне казалось, что я разобрался досконально в нужных разделах, и я пришел к руководителю. Тот выслушал меня и сказал: «Прекрасно, вот теперь и считайте». Хорошенькое дело — «считайте». Оказалось, что я не представляю даже, с чего начать! Но мой наставник был прекрасным педагогом. Он сразу уловил затруднения и в немногих словах подсказал, с чего начать рассчитывать эффекты, связанные с движением системы «космический корабль». И я начал понемногу считать.

Через некоторое время М. Зельманов порекомендовал мне уже достаточно сложную книгу В. Фока «Теория пространства, времени и тяготения». После этого мне многое стало ясно, работа пошла быстрее, и все расчеты удалось закончить в срок. Спустя несколько лет эта моя первая работа по теоретической физике была опубликована. Большая часть ее имела методический характер, но в ней содержались и оригинальные выводы.

Каковы же были результаты расчетов? Прежде всего нас интересовало, какой же во время полета космонавта он будет видеть окружающую Вселенную из иллюминатора своего корабля — этой «лаборатории», несущейся сквозь пространство и время.

С двумя эффектами должен столкнуться космонавт. Первый — уже знакомый нам эффект Доплера, вызывающий «голубение» света, когда мы движемся навстречу его источнику, и «покраснение» — когда удаляемся от него.

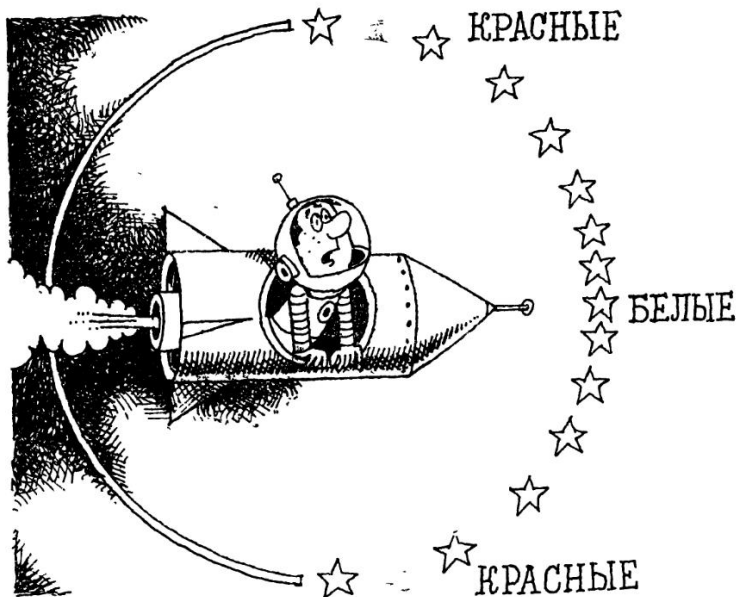


Рис. 2

Но это еще не все. При стремительном полете меняется и направление, по которому видны далекие звезды. Почему так происходит? Вспомним о какой-нибудь своей поездке в поезде. Когда поезда стоят и за окном идет дождь, а ветра нет, то капли дождя оставляют вертикальные следы на стекле окна вагона. Если же поезд движется, то капли будут оставлять наклонные следы, причем наклон их будет в сторону движения поезда.

Подобная картина наблюдается и со светом. Для движущегося наблюдателя лучи света становятся наклонными в сторону его движения. Поэтому космонавт увидит звезды как бы сместившимися на небе к точке, в которую направлено его движение. Явление это называется абберацией света, и, конечно, при скорости космического корабля, близкой к скорости света, смещение видимого положения звезд на небе будет очень сильным.

Я рассчитал, как будет выглядеть звездное небо для космонавтов на корабле, летящем со скоростью 250 000 км/с. На рисунке 2 показано, что откроется глазам экипажа. Для наблюдателей в ракете звезды на

небе как бы сбегутся к той точке, в направлении которой летит корабль. Здесь небо будет усеяно ими гораздо гуще, чем сзади, где почти совсем не будет видно звезд.

Вспомним, что и цвет звезд должен измениться из-за эффекта Доплера. В направлении движения будут видны россыпи звезд, цвет которых голубоватый, а яркость их увеличена. В противоположном направлении на небе звезд почти не будет, за исключением редких слабеньких красных искорок.

Ну а что же с путешествием в будущее? В разобранном мной тогда примере космонавты отправляются к ближайшей к Солнцу звезде — Проксиме Центавра, находящейся от нас на расстоянии сорока тысяч миллиардов километров. В течение первых 4,5 месяца полета ракета разгоняется. Предполагается такая работа двигателей ракеты, что космонавты чувствуют утроенную перегрузку по сравнению с силой тяжести на Земле. К концу разгона скорость корабля составляет 250 000 км/с. Затем двигатели выключаются и корабль летит по инерции, а космонавты могут любоваться описанной выше необычной картиной звездного неба.

При подлете к Проксиме Центавра включаются тормозные двигатели и корабль, тормозясь, останавливается. Затем он разгоняется в обратную сторону и возвращается на Землю. Весь полет по часам, оставшимся на Земле, займет около двенадцати лет, а по часам на космическом корабле — всего около семи лет. По возвращении космонавты окажутся заброшенными в будущее Земли на пять лет! Так работает «космическая машина времени».

Как видит читатель, даже при очень больших скоростях и сравнительно длительных путешествиях в космосе перенос во времени не столь велик. Но все же он есть (точнее, обязательно будет при будущих межзвездных перелетах). С принципиальной точки зрения, всегда, при любом, даже медленном, движении в пространстве происходит и перенос во времени. Только этот перенос обычно совсем ничтожен. Например, экипаж нашей космической станции «Салют», который в 1988 году в течение года двигался по околоземной орбите со скоростью восемь километров в секунду, по возвращении на Землю оказался перенесенным в будущее всего на одну сотую долю секунды.

При будущих межзвездных перелетах можно будет

разгонять фотонные ракеты до скоростей, очень близких к скорости света. Гораздо более близких, чем в разобранном выше примере полета к Проксиме Центавра, где скорость составляла около восьмидесяти процентов скорости света. При еще больших скоростях перенос в будущее после возвращения окажется уже совсем серьезным. Так, представим себе, что путешественники отправляются на фотонной ракете к центру нашей звездной системы — Галактики (это путешествие и в пространстве, и во времени). Первую половину пути «туда» ракета все время разгоняется так, что космонавты ощущают двойную перегрузку по сравнению с силой тяжести на Земле, а вторую половину пути ракета тормозится, гася свою огромную скорость с такой же перегрузкой. Затем все повторяется в обратном направлении при движении к Земле. Путешествие в целом займет, по земным часам, около шестидесяти тысяч лет, на Земле сменятся многие и многие поколения людей, а по часам на ракете пройдет всего... сорок лет! Этот срок лежит, конечно, в пределах активной трудовой жизни человека, и на Землю могут вернуться те же космонавты, что и улетели с нее. Но они окажутся заброшенными в далекое будущее Земли.

Что они встретят на Земле? Об этом знают только фантасты. Возникнет множество не столько даже научных проблем, сколько проблем социальных и психологических, о которых мы здесь ничего не можем сказать. О том, что испытывают люди, заброшенные во времени так далеко от своей привычной эпохи, в которой они родились и воспитывались, очень ярко описано в романе польского писателя-фантаста С. Лема «Возвращение со звезд».

Еще одну особенность межзвездных путешествий необходимо подчеркнуть. На первый взгляд кажется, что человек является своеобразным пленником пространства. Действительно, казалось бы, он не может улететь достаточно далеко от того места, где родился, он как бы «прикован» к этому месту цепью времени. Ведь двигаться со скоростью большей, чем скорость света, нельзя. Значит, можно за жизнь человека, скажем, в сто лет, улететь не дальше, чем на сто световых лет от Земли. Это в пределах лишь ближайших к нам звезд.

Но, конечно, в этих наивных рассуждениях допущена существенная ошибка — не учтено замедление времени у космонавтов. Если учесть это замедление, то,

как мы видели выше, можно улететь очень и очень далеко и посетить далекие уголки Вселенной.

Не правда ли, удивительные перспективы?!

Но пытливая мысль летит гораздо дальше. Обязательно ли ломиться сквозь пространство, чтобы достигнуть далеких областей, совершая длительные и утомительные межзвездные перелеты? Не существует ли какого-либо обходного пути?

Терпение, читатель, мы еще об этом поговорим. Здесь же я только скажу, что недавно, когда я выступал на семинаре в Институте теоретической и экспериментальной физики с докладом о таких обходных путях, ко мне подошел известный советский физик-теоретик член-корреспондент АН СССР Л. Окунь и сказал: «Знаете, много лет назад я вместе с одним нашим известнейшим физиком прогуливался ясной звездной ночью и, глядя на немигающие звезды, заметил — должен же быть какой-то путь достижения этих звезд, кроме тривиального долгого полета к ним сквозь пространство. Мой спутник взглянул на меня скептически и проронил: «Бросьте необоснованно фантазировать, это возможно лишь в сказках». И вот теперь, — с радостью заключил Л. Окунь, — мы открываем такие возможности. Пока только в теории, но открываем!»

Я хочу здесь добавить к этим словам, что наука заставила нас серьезно относиться к самым необычным теоретическим предсказаниям. Пример тому — освобождение ядерной энергии, космические полеты и многое другое. То, что вчера лишь писали теоретики на клочках бумаги, завтра становится реальностью. Поэтому будем серьезно прислушиваться даже к очень необычным предсказаниям физиков.

Но остановимся пока, ограничившись сделанными замечаниями. А о возможности обходного пути к звездам поговорим несколько позже.

Наконец, еще одно замечание. Теория относительности показала, как можно путешествовать в будущее. А можно ли возвратиться в прошлое? Можно ли посетить давно прошедшие на Земле эпохи?

Как я уже сказал в начале этого раздела, сама теория относительности такого пути не указала. А что другие теории, созданные уже после теории относительности; говорят ли они о такой возможности?

Еще раз терпение, читатель, мы к этому более чем фантастическому вопросу вернемся. Пока давайте не-

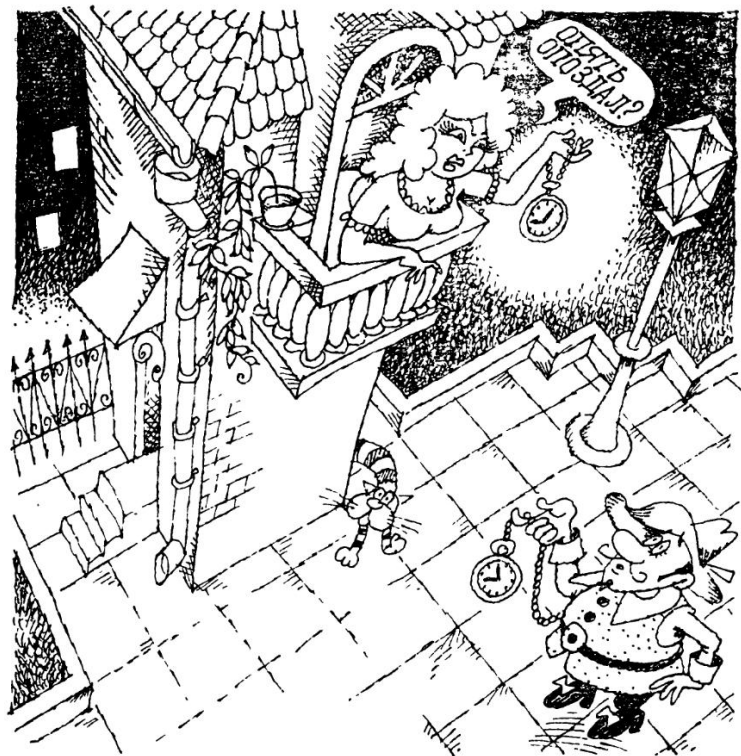
сколько изменим вопрос: можно ли видеть прошлое? Советский физик и известный популяризатор науки А. Чернин ответил на этот вопрос так: «Если мы и видим, то только прошлое». Как же так, что за нелепица?

Но все очень просто. Ведь мы видим окружающий мир с помощью лучей света. А свету нужно некоторое время, чтобы дойти от рассматриваемого объекта до нас. Мы видим объект именно таким, каким он был в момент, когда его покинул свет. Конечно, скорость света огромна, а в обыденной жизни предметы не слишком далеки от нас и свет для путешествия тратит ничтожное время. Поэтому мы видим в данный момент объекты такими, какими они были мгновение тому назад, в момент выхода от них света. То есть мы видим их в прошлом! Хотя и в не очень далеком, но все же в прошлом.

Иначе обстоит дело, когда мы рассматриваем небесные тела. Свету нужно более восьми минут для того, чтобы дойти от Солнца до нас. Значит, мы видим Солнце таким, каким оно было восемь минут назад. От звезд свет идет уже годы, а от далеких звездных систем — миллионы и даже миллиарды лет. Мы видим эти звездные системы в очень далеком прошлом. За такой срок могут родиться, прожить свою полную жизнь многие звезды, могут возникать и эволюционировать целые звездные системы! Небесные тела, находящиеся от нас на разных расстояниях, видны нами в разные эпохи в прошлом — чем дальше объект, тем больше надо свету времени, чтобы дойти от него до нас, тем в более далеком прошлом мы его сегодня видим.

Это обстоятельство доставляет астрономам много хлопот, так как звездные системы, находящиеся на разных расстояниях, видны в разные эпохи во Вселенной, и чтобы их сравнивать надо учитывать их эволюцию за длительные промежутки времени. Но сделать это нелегко, ибо как эволюционируют те или иные звездные системы, известно часто плохо и здесь возможны разные неожиданности.

Но оставим эти трудности специалистам и вернемся к теме нашей книги.



## ВРЕМЯ, ПРОСТРАНСТВО И ТЯГОТЕНИЕ

Каждый знает, что пространство Вселенной трехмерно. Это значит, что у него есть длина, ширина и высота. То же и у всех тел. Или еще: положение точки может быть задано тремя числами — координатами. Если в пространстве проводить прямые линии или плоскости или чертить сложные кривые, то их свойства будут описываться законами геометрии. Эти законы были известны давным-давно, суммированы еще в III веке до нашей эры Евклидом. Именно евклидова геометрия изучается в школе как стройный ряд аксиом и теорем, описывающих все свойства фигур, линий, поверхностей.

Если мы захотим изучать не только местонахождение, но и процессы, происходящие в трехмерном пространстве, то должны включить еще время. Событие,

совершающееся в какой-либо точке, характеризуется положением точки, то есть заданием трех ее координат и еще четвертым числом — моментом времени, когда это событие произошло. Момент времени для события есть его четвертая координата. Вот в этом смысле и говорят, что наш мир четырехмерен.

Эти факты, конечно, известны давно. Но почему же раньше, до создания теории относительности, такая формулировка о четырехмерности не рассматривалась как серьезная и несущая новые знания? Все дело в том, что уж очень разными выглядели свойства пространства и времени. Когда мы говорим только о пространстве, то представляем себе застывшую картину, на которой тела или геометрические фигуры как бы зафиксированы в определенный момент. Время же неудержимо бежит (и всегда от прошлого к будущему), и тела могут менять места.

В отличие от пространства, в котором три измерения, время одномерно. И хотя еще древние сравнивали время с прямой линией, это тогда казалось всего лишь наглядным образом, не имеющим глубокого смысла. Картина резко изменилась после открытия теории относительности.

В 1908 году немецкий математик Г. Минковский, развивая идеи этой теории, заявил: «Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность». Что имел в виду Г. Минковский, высказываясь столь решительно и категорично?

Он хотел подчеркнуть два обстоятельства. Первое — это относительность промежутков времени и пространственных длин, их зависимость от выбора системы отсчета. Второе, оно и является главным в его высказывании, это то, что пространство и время тесно связаны между собой. Они, по существу, проявляются как разные стороны некоторой единой сущности — четырехмерного пространства-времени. Вот этого тесного единения, неразрывности и не знала доэйнштейновская физика. В чем оно проявляется?

Прежде всего пространственные расстояния можно определять, измеряя время, необходимое свету или вообще любым электромагнитным волнам для прохождения измеряемого расстояния. Это известный метод радиолокации. Очень важно при этом, что скорость любых



электромагнитных волн совсем не зависит ни от движения их источника, ни от движения тела, отражавшего эти волны, и всегда равна «с». Поэтому расстояние получается просто умножением постоянной скорости «с» на время прохождения электромагнитного сигнала. До теории Эйнштейна не знали, что скорость света постоянна, и думали, что так просто поступать при изменении расстояний нельзя.

Конечно, можно поступить и наоборот, то есть измерять время световым сигналом, пробегающим известное расстояние. Если, например, заставить световой сигнал бегать, отражаясь между двумя зеркалами, разнесенными на три метра друг от друга, то каждый пробег будет длиться одну стомиллионную долю секунды. Сколько раз пробежал этот своеобразный световой маятник между зеркалами, столько стомиллионных долей секунды прошло.

Приведенные примеры показывают связь пространства и времени. Их промежутки отличаются друг от друга всего лишь постоянным и хорошо известным множителем «с».

Не менее важное проявление единства пространства и времени состоит в том, что с ростом скорости тела течение времени на нем замедляется в точном соответствии с уменьшением его продольных (по направлению движения) размеров. Благодаря такому точному соответствию из двух величин — расстояния в пространстве между какими-либо двумя событиями (например, вспышками двух лампочек) и промежутка времени, их разделяющего, простым расчетом можно получить величину, которая постоянна для всех наблюдателей, как бы ни двигались, и никак не зависит от скорости любых «лабораторий». Эта величина играет роль расстояния в четырехмерном пространстве-времени. Пространство-время и есть то «объединение» пространства и времени, о котором говорил Г. Минковский.

Вообразить такое формальное присоединение времени к пространству, пожалуй, нетрудно. Гораздо сложнее наглядно представить себе четырехмерный мир. Удивляться трудности не приходится. Когда мы в школе рисуем плоские геометрические фигуры на листе бумаги, то обычно не испытываем никаких затруднений в изображении этих фигур; они двумерны (имеют только длину и ширину).

Многим гораздо труднее воображать трехмерные

# ВРЕМЯ



Рис. 3

фигуры в пространстве — пирамиды, конусы, секущие их плоскости и т. д. Что касается воображения четырехмерных фигур, то иногда это очень трудно даже для специалистов, всю жизнь работающих с теорией относительности.

Так, известный английский физик-теоретик, крупнейший специалист в теории относительности С. Хоукинг говорит: «Невозможно вообразить четырехмерное пространство. Я сам с трудом представляю фигуры в трехмерном пространстве!» Поэтому читателю, испытывающему трудность с представлением четырехмерия, огорчаться не надо. Но специалисты с успехом используют понятие пространства-времени. Так в пространстве-времени можно линией изображать движение какого-либо тела.

На рисунке 3 по горизонтали изображено расстояние в пространстве по одному направлению, а по вертикали отложено время. Здесь же можно для каждого момента времени отмечать положение тела. Если оно покоится в нашей «лаборатории», то есть его положение не меняется, то это на нашем графике изобразится вертикальной линией. Если тело движется с по-

стоянной скоростью — мы получим наклонную прямую. При произвольных движениях получается кривая линия. Такая линия получила название *мировой линии*. В общем случае надо вообразить, что тело может двигаться не только по одному направлению, но и по другим двум в пространстве тоже. Его мировая линия будет изображать существование тела в четырехмерном пространстве-времени.

На нашем рисунке 3 сделана попытка показать, что пространство и время выступают как бы совершенно равноправно. Их значения просто отложены по разным осям. Но все же между пространством и временем есть существенная разница: в пространстве можно стоять, во времени стоять нельзя. На рисунке мировая линия покоящегося тела изображена вертикально. Тело как бы увлекается потоком времени вверх, даже если оно не движется в пространстве. И так обстоит дело со всеми вообще телами; их мировые линии не могут остановиться, оборваться в какой-то момент времени, ведь время не останавливается. Пока тело существует, непрерывно продолжается и его мировая линия.

Как мы видим, ничего мистического в представлениях физиков о четырехмерном пространстве-времени нет. А. Эйнштейн как-то заметил: «Мистический трепет охватывает нематематика, когда он слышит о «четырехмерном», — чувство, подобное чувству, внушаемому театральным приведением. И тем не менее нет ничего банальнее фразы, что мир, обитаемый нами, есть четырехмерная пространственно-временная непрерывность».

Конечно, к новому понятию надо привыкнуть. Однако независимо от способности к наглядным представлениям физики-теоретики используют понятие о четырехмерном мире как рабочий инструмент для своих расчетов, оперируя мировыми линиями тел, вычисляя их длину, точки пересечения и так далее. Они развивают в этом четырехмерном мире четырехмерную геометрию, подобную геометрии Евклида. В честь Г. Минковского четырехмерный мир называют пространством-временем Минковского.

После создания в 1905 году теории относительности А. Эйнштейн в течение десяти лет упорно работал над проблемой — как соединить свою теорию с ньютоновским законом всемирного тяготения.

Закон тяготения в том виде, как его сформулировал И. Ньютон, несовместим с теорией относительности.

В самом деле, согласно утверждению И. Ньютона сила, с которой одно тело притягивает другое, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Поэтому, если притягивающее тело сдвинется, расстояние между телами изменится и это мгновенно скажется на силе притяжения, влияющей на притягиваемое тело. Таким образом, по И. Ньютону, тяготение мгновенно передается сквозь пространство. Но теория относительности утверждает, что этого быть не может. Скорость передачи любой силы, любого влияния не может превышать скорость света, и тяготение не может передаваться мгновенно!

В 1915 году А. Эйнштейн завершил создание новой теории, объединяющей теории относительности и тяготения. Он назвал ее общей теорией относительности. После этого ту теорию, которую Эйнштейн создал в 1905 году и которая не рассматривала тяготение, стали называть специальной теорией относительности.

Математический аппарат новой теории оказался весьма сложным и непривычным для тогдашних физиков, и это послужило одной из причин того, что теория не сразу была понята и принята многими специалистами.

Несмотря на сложность математики, основные идеи теории просты (как и все по-настоящему важное), хотя они и необыкновенно смелы и еще кардинальнее меняют взгляды на пространство и время, чем это делала специальная теория относительности.

Сам И. Ньютон ясно понимал, что он лишь описал закон действия силы тяготения, но как конкретно передается тяготение от одного тела к другому, какова природа его и каков, так сказать, «механизм» работы тяготения, он не знал. Вот что он записал: «Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю... Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам, и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Общая теория относительности А. Эйнштейна раскрывает «механизм» работы тяготения. Она утверждает, что тяготение сильно отличается от всех других сил в природе. Чтобы понять, в чем здесь дело, вспомним такую аналогию. Шар, катящийся по ровной плоскости, движется по прямой — кратчайшей линии между любы-

ми двумя точками. Если заставить его катиться по искривленной поверхности, то он, конечно, будет двигаться не по прямой, а по искривленной линии, так как прямую нельзя уложить на искривленной поверхности. Так, если шар катится по поверхности Земли (считаем поверхность абсолютно ровной сферой без гор, долин и препятствий), то он будет двигаться по кратчайшей линии на сфере. В этом случае такие линии называют дугами больших кругов. Ясно, что это кривые линии, но они «прямейшие» (кратчайшие) на искривленной поверхности земного шара; кстати, такие линии на любой искривленной поверхности называются геодезическими линиями.

Теория тяготения Эйнштейна утверждает, что тяготеющие тела искривляют вокруг себя четырехмерное пространство-время. Мы уже говорили, что трудно наглядно вообразить себе простое пространство-время, а тем более сложно это сделать, когда оно еще и искривленное. Но для математика или физика-теоретика и нет нужды в наглядных представлениях. Для него искривление означает изменение геометрических свойств фигур или тел. Так, если на плоскости отношение длины окружности к ее диаметру равно  $2\pi$ , то на искривленной поверхности или в «кривом» пространстве это не так. Геометрические соотношения там отличаются от соотношений в геометрии Евклида. И специалисту достаточно знать законы «кривой» геометрии, чтобы оперировать в таком необычном пространстве.

Тот факт, что трехмерное пространство может быть искривленным, теоретически было открыто в начале прошлого века русским математиком Н. Лобачевским и в то же время венгерским математиком Я. Больяи. В середине прошлого века немецкий геометр Б. Риман стал рассматривать в математике «искривленные» пространства не только с тремя измерениями, но и четырехмерные и вообще с любым числом измерений. С той поры геометрию искривленного пространства стали называть *неевклидовой*. Первооткрыватели неевклидовой геометрии не знали, в каких конкретно условиях может проявиться их геометрия, хотя отдельные догадки об этом высказывали. Созданный ими и их последователями математический аппарат был использован при формулировке общей теории относительности.

Итак, согласно основной идее А. Эйнштейна тяготеющие массы искривляют вокруг себя пространство-вре-

мя. Рассмотрим теперь другие тела с очень маленькой массой (физики их называют «пробными»), которые движутся в этом искривленном пространстве-времени. Они по-прежнему движутся по геодезическим линиям. Но если в неискривленном пространстве-времени геодезические линии — это прямые, то здесь — в искривленном — они кривые. Вот это движение — движение по искривленным траекториям и с переменной скоростью — мы и воспринимаем как движение под действием сил тяготения. Таким образом, поле тяготения объясняется «искривленной» геометрией пространства-времени.

Известные американские физики Ч. Минзер, К. Торн и Дж. Уилер свою монографию об общей теории относительности, содержащую 1279 страниц большого формата, начинают со следующего шуточного рассказа. «Однажды в саду под яблоней лежал студент и размышлял о том, как по-разному понимали гравитацию Ньютон и Эйнштейн. Неожиданно он вздрогнул: рядом упало яблоко. Студент взглянул на него и заметил, как по его поверхности забегали муравьи. Ему стало любопытно, и он решил выяснить, по какому принципу муравьи выбирают свой путь.

Его взгляд упал на двух муравьев, отправившихся из одной и той же точки в направлениях, слегка отличающихся друг от друга. На этот раз их пути случайно пролегли вблизи углубления в верхней части яблока, причем по разные стороны от него. Каждый из муравьев добросовестно следовал вдоль своей геодезической. Каждый старался бежать по яблочной кожуре как можно прямее. Однако из-за собственной кривизны углубления их пути сначала пересеклись, а затем разошлись в совершенно разных направлениях.

«Можно ли придумать более удачную иллюстрацию для геометрической теории тяготения Эйнштейна? — задумчиво произнес студент. — Муравьи движутся так, будто их притягивает к яблочному черенку. Теперь я гораздо лучше понимаю, о чем говорится в этой книге».

И далее авторы заключают: «Пространство воздействует на материю, «указывая» ей, как двигаться. Материя, в свою очередь, оказывает обратное действие на пространство, «указывая» ему, как искривляться».

В этом объяснении все необычно — и неподдающееся наглядному представлению искривленное четырехмерное пространство-время, и необычность объяснения

силы тяготения геометрическими причинами. Физика здесь впервые напрямую связывается с геометрией. И, знакомясь с успехами физики, чем ближе мы подходим к нашей эпохе, тем необычнее становятся ее открытия, а понятия все менее поддаются наглядным представлениям. И ничего не поделаешь! Природа сложна, и раз уж мы проникаем все глубже в ее тайны, то приходится мириться с тем, что это требует все больших усилий, в том числе и от нашего воображения. Наверное, слово «мириться» не очень здесь годится, скорее надо подчеркнуть, что становится все интереснее, хотя и труднее.

Сообщим читателю еще два факта из теории тяготения Эйнштейна.

В теории Ньютона поле тяготения определяется только массой создающего его тела. По теории Эйнштейна в создании тяготения участвуют все виды энергии — это и давление, и натяжение, если они имеются в теле, и электромагнитное поле. Второй важный факт — теория предсказывает, что при ускоренном движении тяготеющих масс должны излучаться волны тяготения подобно тому, как при ускоренном движении зарядов излучаются электромагнитные волны. (Жаль, но мы не будем здесь подробнее говорить о том, что такое волны тяготения.)

Оба эти предсказания теории Эйнштейна, отличающие ее от теории Ньютона, могут проявляться только в экзотических условиях, а в обычных ситуациях эффекты, связанные с этими предсказаниями, очень слабы и совершенно незаметны. Физики часто тяготение называют гравитацией, так иногда будем поступать и мы.

В обычных условиях теория Эйнштейна практически совпадает с теорией Ньютона. А в очень сильных гравитационных полях или же в полях, быстроменяющихся со временем, теория Эйнштейна приводит к выводам, существенно отличающимся от выводов ньютоновской. Об этом мы еще поговорим.

Сразу после создания своей теории А. Эйнштейн указал на три эффекта, которые хотя и малы в обычных ситуациях, но все же могут быть проверены астрономическими наблюдениями и подтвердить правильность новой теории.

Первые два эффекта связаны с небольшими отклонениями в движении планет вокруг Солнца и лучей света, проходящих вблизи него, от движения по ньютоновским законам. Сравнение с данными наблюдений обна-

ружило эти эффекты и полностью подтвердило правильность новой теории. Кстати, наблюдения эффектов Эйнштейна показали, что пространство вблизи Солнца действительно несколько искривлено и его геометрия слегка отличается от геометрии Евклида.

Третий эффект касается времени, и поэтому мы на нем остановимся подробнее.

Теория Эйнштейна предсказывает: в сильном поле тяготения время течет медленнее, чем вне его. Это означает, например, что любые часы у поверхности Солнца идут медленнее, чем на поверхности Земли, ибо тяготение Солнца больше, чем тяготение Земли. По аналогичной причине часы на некоторой высоте над поверхностью Земли идут чуть быстрее, чем на самой поверхности.

Для проверки этого интереснейшего эффекта проведено множество экспериментов, и мы расскажем о некоторых из них. Начнем с наблюдений замедления времени на Солнце.

В качестве «часов» использовались атомы химических элементов. Линии поглощения в спектре Солнца, вызываемые этими атомами, соответствуют определенным частотам колебаний электронов, когда они переходят с одного энергетического уровня в атоме на другой. Если время действительно течет на Солнце медленнее, то должны уменьшаться и частоты этих колебаний, а значит, и линии в спектре смещаться к его красному концу. Этот сдвиг ничтожен, ведь время на Солнце течет медленнее, чем на Земле, всего на две миллионные доли. На такую же долю от частоты спектральной линии она должна сдвинуться в красную сторону. Эффект называют гравитационным красным смещением. Вот это небольшое смещение и предстояло измерить. Если бы не осложняющие эффекты, связанные с движениями масс газа на солнечной поверхности, астрономы с уверенностью могли бы измерить гравитационное красное смещение.

Но эффект Доплера из-за турбулентных движений масс солнечного газа маскирует гравитационный эффект, и астрономы столкнулись здесь с серьезными трудностями. Первые попытки измерения (сразу после предсказания) были не очень удачными, и только сравнительно недавно, в последние десятилетия, исследования солнечного спектра полностью подтвердили теорию. Несмотря на то, что разница в темпе протекания време-



ни на Земле и Солнце ничтожно мала, все же за время существования этих небесных тел разница в количестве протекших там и тут лет накопилась ощутимая. И Земля и Солнце существуют около пяти миллиардов лет, а вот за это время на Земле прошло на 10 тысяч лет больше, чем на Солнце...

В 1968 году американский физик И. Шапиро измерил замедление времени у поверхности Солнца очень оригинальным методом. Он проводил радиолокацию Меркурия, когда тот, двигаясь вокруг Солнца, находился от него с противоположной стороны по отношению к Земле. Радиолокационный луч проходил вблизи поверхности Солнца, и из-за замедления времени ему требовалось чуть больше на прохождение туда и обратно, чем на покрытие такого же расстояния, когда Меркурий находился вдали от Солнца. Эта задержка (около десяти тысячной доли секунды) действительно была зафиксирована и измерена.

Астрономы знают звезды гораздо более плотные, чем Солнце, где у поверхности поле тяготения несравненно сильнее. Это нейтронные звезды и белые карлики. Наблюдение эффекта замедления времени при изучении света, идущего от них, также подтвердило теорию. Отметим, что на поверхности нейтронных звезд время течет уже вдвое (!) медленнее.

Особенно интересно, что замедление течения времени в поле тяготения было измерено непосредственно в лабораторных условиях на Земле. Это сделали в 1960 году американские физики Р. Паунд и Г. Ребка. Они сравнивали ход времени у основания башни и на высоте 22,6 метра, где ход времени должен быть чуть быстрее. Роль часов играли при этом очень точные приборы, использующие явление излучения в некоторых условиях гамма-лучей строго определенной частоты. Разность хода часов по предсказаниям теории составляла фантастически малую величину — три десятитысячных от миллиардной доли процента. И эта разница была зафиксирована!

Спустя шестнадцать лет аналогичные эксперименты были повторены, но в иных условиях. В одном из них с помощью ракеты был запущен на высоту около десяти тысяч километров прибор, дающий излучение на строго определенной частоте (так называемый водородный стандарт частоты). На этой высоте ход времени опережает ход на поверхности Земли тоже лишь на ничтож-

ную величину, но все же разница в темпах в сто тысяч раз больше, чем в экспериментах Р. Паунда и Г. Ребка. Продолжительность эксперимента (длительность полета ракеты) составила два часа. Но этому предшествовало пять лет напряженной работы. Формула Эйнштейна была подтверждена с точностью до двух сотых процента!

Примерно в это же время были проведены и прямые эксперименты с часами, правда, с часами сверхточными — атомными.

Итальянские физики отвезли несколько таких «часов» на грузовике в горы, а затем, по прошествии нескольких часов, привезли обратно в долину и сравнили их показания с часами, все время остававшимися внизу. Часы, которые были внизу, отстали в полном соответствии с теорией Эйнштейна. Сама величина отставания измерялась при этом наносекундами, то есть миллиардными долями секунды.

В эксперименте американских физиков атомные часы помещались на самолете, который летал на высоте около девяти километров в течение четырнадцати часов. Затем, после приземления, показания часов сравнивались с находившимися на Земле. И здесь теория Эйнштейна была полностью подтверждена.

Итак, не может быть никакого сомнения в замедлении течения времени в гравитационном поле. В большинстве описанных случаев изменение ничтожно мало, но мы увидим, что астрономы и физики знают ситуации, когда разница в беге времени колоссальна.

Общая теория относительности полностью изменила наши представления о пространстве и времени. И то и другое перестало быть неизменной сценой, на которой разворачивается драматическая история Вселенной. Пространство не есть какой-то бесконечный жесткий каркас. Движущаяся материя искривляет его, меняет геометрические свойства. Постепенно оставалось все меньше и меньше от наивного представления наших предшественников о единой реке времени. Теперь она представляется текущей не везде одинаково величаво: то быстро в сужениях, то медленно на плесах, то, как мы увидим далее, разбивается на множество рукавов и ручейков с разной скоростью течения в зависимости от условий.



## ДЫРЫ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

Когда я начал серьезно изучать общую теорию относительности, это был конец 50-х годов, еще никто толком не знал, что такое черные дыры. Даже названия такого не было ни в специальной научной, ни в популярной литературе. Контраст разительный по сравнению с сегодняшним днем, когда про черные дыры буквально все по крайней мере слышали или читали. Черные дыры — это порождение гигантских сил тяготения. Они возникают, когда в ходе сильного сжатия большой массы материи возрастающее гравитационное поле ее становится настолько сильным, что не выпускает даже свет. Быстрее света в природе ничто двигаться не может, значит, из черной дыры не может вообще ничто выходить. В нее можно только упасть под дей-

ствием огромных сил тяготения, но выхода оттуда нет.

Я впервые столкнулся с описанием очень сильных полей тяготения в монографии Л. Ландау и Е. Лифшица, о которой я уже упоминал. Ее я изучал, будучи студентом, под руководством А. Зельманова. В этой книге кратко, но предельно ясно говорилось о свойствах тяготения сильно сжатой сферической массы. Решение уравнений Эйнштейна для такого случая было найдено астрономом К. Шварцшильдом, и поэтому такое поле тяготения называют шварцшильдовским.

Я помню, что меня тогда не очень заинтересовал этот раздел. Но я сделал для себя некоторые вычисления (в качестве упражнений), пользуясь формулами, которые были в книге, и используя знания, почерпнутые при общении с А. Зельмановым. Надо подчеркнуть, что вычисления в теории Эйнштейна очень сложны, и часто за «лесом» длинющих формул трудно понять, что означают окончательные результаты. Азам этой науки — ясному пониманию смысла математических выводов — и учил меня А. Зельманов. Замечу, что в сложнейших современных теориях, наверное, самое трудное — это понимание физической сути того, что получается в результате вычислений. И я весьма благодарен моему руководителю, научившему меня основам этого трудно-го искусства — пониманию.

Итак, я вычислил, с какой силой притягивает центральная масса какое-либо тело, находящееся на ее поверхности. Результат оказался примечательным. Если радиус массы велик, то ответ совпадал с классическим законом Ньютона. Но когда принималось, что та же масса сжата до все меньшего и меньшего радиуса, постепенно проявлялись отклонения от закона Ньютона — сила притяжения получалась пусть незначительно, но несколько большей. При совершенно фантастических же сжатиях отклонения были заметнее. Но самое интересное, что для каждой массы существует свой определенный радиус, при сжатии до которого сила тяготения стремилась к бесконечности! Такой радиус в теории был назван *гравитационным радиусом*. Гравитационный радиус тем больше, чем больше масса тела. Но даже для астрономических масс он очень мал: для массы Земли это всего один сантиметр, для массы Солнца три километра!

У меня, конечно, возник вопрос: а что произойдет,

если масса будет иметь радиус меньше гравитационного? В этом случае, казалось на первый взгляд, сила притяжения должна быть больше бесконечной. Но это же явный абсурд! Конечно, я пошел к учителю, который сказал, что считается, будто таких тел быть не может, хотя сам он обоснованного ответа не встречал. Потом я узнал, что не только А. Зельманов, но и никто в мире этой задачей не занимался. Вопрос стоял как-то в стороне от магистральной линии развития науки. Столь плотных тел астрономы тогда не знали. Рассуждения на эту тему считались беспочвенными, да почти никто из них тогда и не знал общей теории относительности. Астрономы считали, что эта наука им совсем ни к чему, поскольку она применима к сверхсильным полям тяготения, а в то время такие поля во Вселенной были неизвестны. Мне же эта проблема запомнилась, и когда я поступил в аспирантуру к А. Зельманову, то начал серьезно ее изучать.

Сначала мне казалось, что действительно тело не может сжаться до размеров меньше гравитационного радиуса. Но вскоре понял, что ошибаюсь, и позже скажу, в чем была причина ошибки.

Еще в 1939 году американские физики Р. Оппенгеймер (тот самый, кто потом делал американскую атомную бомбу) и Х. Снайдер дали точное математическое описание того, что будет происходить с массой, сжимающейся под действием собственного тяготения до все меньших размеров. Если сферическая масса, уменьшаясь, сожмется до размеров, равных или меньших, чем гравитационный радиус, то потом никакое внутреннее давление вещества, никакие внешние силы не смогут остановить дальнейшее сжатие. Действительно, ведь если бы при размерах, равных гравитационному радиусу, сжатие остановилось бы, то силы тяготения на поверхности массы были бы бесконечно велики и ничто с ними не могло бы бороться, они тут же заставят массу сжиматься дальше. Но при стремительном сжатии — падении вещества к центру — силы тяготения не чувствуются.

Всем известно, что при свободном падении наступает состояние невесомости и любое тело, не встречая опоры, теряет вес. То же происходит и со сжимающейся массой: на ее поверхности сила тяготения — вес — не ощущается. После достижения размеров гравитационного радиуса остановить сжатие массы нельзя. Она не-

удержимо стремится к центру. Такой процесс физики называют *гравитационным коллапсом*, а результатом является возникновение черной дыры. Именно внутри сферы с радиусом, равным гравитационному, тяготение столь велико, что не выпускает даже свет. Эту область Дж. Уилер назвал в 1968 году черной дырой.

Название оказалось крайне удачным и было моментально подхвачено всеми специалистами. Границу черной дыры называют *горизонтом событий*. Название это понятно, ибо из-под этой границы не выходят к внешнему наблюдателю никакие сигналы, которые могли бы сообщить сведения о происходящих внутри событиях. О том, что происходит внутри черной дыры, внешний наблюдатель никогда ничего не узнает.

Итак, вблизи черной дыры необычно велики силы тяготения, но это еще не все. Мы помним, что в сильном поле тяготения меняются геометрические свойства пространства и замедляется течение времени.

Около горизонта событий кривизна пространства становится очень сильной. Чтобы представить себе характер этого искривления, поступим следующим образом. Заменяем в наших рассуждениях трехмерное пространство двумерной плоскостью (третье измерение уберем) — нам будет легче изобразить ее искривление. Посмотрим теперь на рисунок 4. Пустое пространство изображается плоскостью (а). Если мы теперь поместим в это пространство тяготеющий шар, то вокруг него пространство слегка искривится — прогнется. Представим себе, что шар сжимается и его поле тяготения увеличивается. Это показано на рис. 4 (б), где перпендикулярно пространству отложена координата времени, как его измеряет наблюдатель на поверхности шара. С ростом тяготения увеличивается искривление пространства. Наконец, возникает черная дыра, когда поверхность шара сожмется до размеров, меньше горизонта событий, и «прогиб» пространства сделает стенки в прогибе вертикальными. Ясно, что вблизи черной дыры на столь искривленной поверхности геометрия будет совсем не похожа на евклидову геометрию на плоскости. Мы видим, что с точки зрения геометрии пространства черная дыра действительно напоминает дыру в пространстве.

Обратимся теперь к темпу течения времени. Чем ближе к горизонту событий, тем медленнее течет время с точки зрения внешнего наблюдателя. На границе

черной дыры его бег и вовсе замирает. Такую ситуацию можно сравнить с течением воды у берега реки, где ток воды замирает. Это образное сравнение принадлежит немецкому профессору Д. Либшеру, вместе с которым мы недавно описывали черную дыру.

Но совсем иная картина представляется наблюдателю, который в космическом корабле отправляется в черную дыру. Огромное поле тяготения на ее границе разгоняет падающий корабль до скорости, равной скорости света. И тем не менее далекому наблюдателю кажется, что падение корабля затормаживается и полностью замирает на границе черной дыры. Ведь здесь, с его точки зрения, замирает само время.

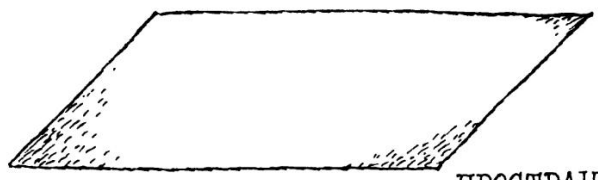
С приближением скорости падения к скорости света время на корабле также замедляет свой бег, как и на любом быстро летящем теле. И вот это замедление побеждает (компенсирует) замирание падения корабля. Растягивающаяся до бесконечности картина приближения корабля к границе черной дыры из-за все большего и большего растягивания секунд на падающем корабле измеряется конечным числом этих все удлиняющихся (с точки зрения внешнего наблюдателя) секунд. По часам падающего наблюдателя или по его пульсу до пересечения границы черной дыры протекло вполне конечное число секунд. Бесконечно долгое падение корабля по часам далекого наблюдателя уместилось в очень короткое время падающего наблюдателя. Бесконечное для одного стало конечным для другого.

Вот уж поистине фантастическое изменение представлений о течении времени. То, что мы говорили о наблюдателе на космическом корабле, относится и к воображаемому наблюдателю на поверхности сжимающегося шара, когда образуется черная дыра.

Теперь читателю, наверное, понятна моя первоначальная ошибочная убежденность, что в черную дыру нельзя попасть. Я смотрел на ход этого процесса по времени (по часам) внешнего наблюдателя и видел, что он бесконечно долгий, а надо было смотреть по времени падающего наблюдателя. По этому времени падение внутрь дыры происходит за конечное время и даже очень быстро.

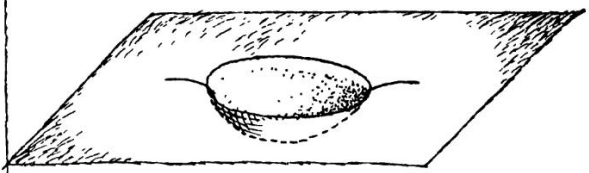
Наблюдатель, упавший в черную дыру, никогда не сможет оттуда выбраться, как бы ни были мощны двигатели его корабля. Он не сможет послать оттуда и никаких сигналов, никаких сообщений. Ведь даже

$\alpha$

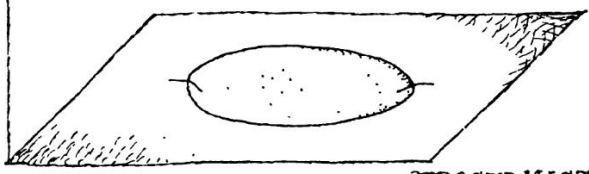


ПРОСТРАНСТВО

ВРЕМЯ



$\sigma$



ПРОСТРАНСТВО

Рис. 4



**свет** — самый быстрый вестник в природе — оттуда не выходит. Для внешнего наблюдателя само падение корабля растягивается по его часам до бесконечности. Значит, то, что будет происходить с падающим наблюдателем и его кораблем внутри черной дыры, протекает уже вне времени внешнего наблюдателя (после его бесконечности по времени). В этом смысле черные дыры представляют собой дыры во времени Вселенной.

Конечно, сразу оговоримся, что это вовсе не означает, что внутри черной дыры время не течет. Там время течет, но это другое время, текущее иначе, чем время внешнего наблюдателя.

Когда обучение в аспирантуре близилось к концу, я написал работу об этом другом времени, и она до сих пор является одной из моих самых любимых. Суть сделанного мной открытия состояла в том, что если переходить из внешнего пространства внутрь черной дыры, то в формулах, описывающих геометрию четырехмерного пространства-времени, координата времени просто заменяется на радиальную пространственную координату, и наоборот. Или, иначе говоря, время превращается в радиальное пространственное расстояние, а это расстояние-то и есть время!

Некоторое представление о том, что происходит, читатель может составить, глядя на рисунок 4 (б). Пространство, изгибаясь при образовании черной дыры, имеет на ее границе уже вертикальное направление (самая верхняя поверхность на рисунке 4 (б)), а по вертикали мы откладываем время, что и значит, что пространство (радиальное направление) превращается во время. Удивительные вещи предсказывает теория Эйнштейна!

Когда я написал соответствующие уравнения (итог занимал всего одну строчку), то, как всегда, немедленно отправился к А. Зельманову. Он, взглянув на то, что я принес, мгновенно все понял. Через несколько секунд он сказал: «Немедленно посылайте в печать». Я был поражен. Это была величайшая похвала, ведь обычно он заставлял все обдумывать и перепроверять месяцами, если не дольше, а свои статьи оттачивал годами. Так началось мое исследование черных дыр.

В конце 50-х годов проблемой внутренности черных дыр занялись молодые физики за рубежом — Д. Финкельштейн и М. Крускал, а затем и другие. Но на ранней стадии моей работы я об этом не знал. Продолжая

исследование, мне удалось найти, как именно будут двигаться свободно летящие тела внутри горизонта событий. Эту область, где не может быть покоя, где все обязано падать к центру, я назвал  $T$ -областью. Название подчеркивало обязательную зависимость от времени  $T$ . Так часто подобные области называют и сейчас.

Ученые обычно с особенной любовью относятся к придуманным ими названиям и испытывают своего рода ревность, если кто-то забывает, что название введено ими. На первый взгляд это выглядит странным. Ведь ясно, что доказать что-то существенное в теории трудно, и, казалось бы, каждый, кому это удалось, а результат стал общепризнанным, должен испытывать большее удовлетворение от этого, чем от удачно придуманного и привившегося названия. Но на самом деле ситуация часто обратная, и я с этим не раз сталкивался. Наверное, тут подсознательно влияет на человека тот факт, что хороших работ в теории бывает достаточно много, а удачных, общепринятых названий всего несколько. Вот что пишет, например, английский математик Дж. Литвуд: «Обозначения  $L$  и  $R$  (left — левый, right — правый. — *И. Н.*), которые с благодарностью восприняло целое поколение студентов, были введены мною. В первом издании «*Pure Mathematics*» (Курс чистой математики. Г. Харди, — *И. Н.*) классы обозначались через  $T$  и  $U$ . Более поздние издания содержат много ссылок на меня, но когда я намекнул Харди, что ему следует отметить и эту мою заслугу (что не было сделано), он отказался выполнить мою просьбу на том основании, что упоминать такие мелочи было бы оскорбительным для меня». (Это известная отговорка угнетателей: то, чего жертва хочет, не служит ее истинным интересам.)

Со мной произошел почти аналогичный случай. В одной из статей я много раз ссылался на известного советского астронома И. Шкловского, у которого учился, а затем работал, и с которым у нас были очень теплые отношения. В этой статье я упоминал об излучении, оставшемся во Вселенной с древних времен (мы о нем еще будем говорить в этой книге). Это излучение в зарубежной литературе (да и в части нашей) называли неуклюже — «микроволновое фоновое излучение». И. Шкловский назвал его реликтовым. Яркое название понравилось многим. Я его всегда использую. И. Шкловский, прочитав упомянутую мою статью, позвал меня и

с большой обидой стал спрашивать, почему я не написал, что название придумано им. В свое оправдание (и совершенно искренне) я бормотал, что название используется уже давно и в десятках статей, что это будет несolidно для его авторитета во всем мире, если по таким пустякам на него ссылаться (буквально те же аргументы, что Харди приводил Литвуду). Но И. Шкловский настойчиво убеждал меня, что «это не пустяки!».

И я думаю, что он был прав. Яркое, эмоциональное название помогает обращать внимание на проблему, привлекает к ней и молодежь, и сложившихся ученых, да и стимулирует тех, кто уже над ней работает. Это своего рода реклама, а специалисты по рекламе хорошо знают, насколько важно запоминающееся название. Придумав название «черные дыры», Дж. Уилер способствовал популяризации проблемы гравитационного коллапса и среди профессионалов и среди всех, интересующихся загадками науки.

Скажем теперь несколько слов о том, как можно создать черную дыру. На первый взгляд, задача эта несложная. Надо взять какую-либо массу и сжать ее до размеров гравитационного радиуса. Это, конечно, верно. Однако дело чрезвычайно осложнено тем, что величина гравитационного радиуса ничтожно мала даже для больших масс. Так, если взять массу небольшой горы, то ее пришлось бы сжать до размера атомного ядра! Разумеется, не может быть и речи об искусственном создании черных дыр в современных лабораториях или в лабораториях обозримого будущего.

Даже если бы мы взяли массу Земли, то ее пришлось бы сжать до (по радиусу) 1 сантиметра, а массу Солнца — до 3 километров.

Но, оказывается, природа сама позаботилась о создании черных дыр, правда, достаточно большой массы. Такие черные дыры могут возникать в конце жизни достаточно массивных звезд.

Мы не будем здесь сколько-нибудь подробно говорить об эволюции звезд и о том, что их ждет в конце жизненного пути. Для нас достаточно будет сказать, что если звезда в самом конце активной эволюции, уже после исчерпания ядерного горючего, имеет массу, скажем, в десять масс Солнца и более, то весьма вероятно, что силы собственного тяготения сожмут ее до размеров гравитационного радиуса и превратят в черную дыру. Более того, первые черные дыры во Вселенной, возник-

шие из звезд, вероятно, уже открыты астрономией. О методах их поисков и открытий мы несколько подробнее скажем далее. Наконец, весьма вероятно, что сверхмассивные черные дыры с массой от ста тысяч до миллиарда и более масс Солнца возникают в центрах гигантских звездных систем-галактик. Возможно также, что во Вселенной есть черные дыры и другой природы.

Когда астрофизики всерьез заинтересовались черными дырами в 60-х годах, перед физиками-теоретиками были поставлены новые сложные задачи. Р. Оппенгеймер и Х. Снайдер описали возникновение черных дыр при сжатии точно сферической массы. Но в природе никогда не бывает абсолютно точно сферических тел. А что произойдет, если сжимающееся тело несферично?

Я заинтересовался этим вопросом после окончания аспирантуры, когда пришел работать к академику Я. Зельдовичу. Здесь вместе с моим сверстником и другом А. Дорошкевичем и нашим руководителем мы взялись за решение проблемы. Когда работа была закончена, ее результат оказался совсем неожиданным. Вычисления показывали, что при сжатии несимметричного тела (но без вращения) возникает черная дыра, которая быстро должна стать совершенно сферической. Любые отклонения от сферичности в гравитационном поле должны при образовании черной дыры излучиться, унести гравитационными волнами. Возникшая граница черной дыры — горизонт событий — оказывается только сферической!

Я рассказал об этом результате на Международной конференции по гравитации летом 1965 года. Это была первая моя зарубежная поездка, первое по-настоящему серьезное обсуждение проблем с иностранными специалистами и первое представление научных результатов недавно созданной Я. Зельдовичем группы перед международной общественностью. Дебют был успешным. Мне стало ясно, что благодаря огромной физической интуиции нашего руководителя, его настойчивости и увлекающему всех учеников громадному трудолюбию, основанному на прямо детской влюбленности в тайны природы, наша группа занимает лидирующее положение в новой области науки — «релятивистской астрофизике» (словом «релятивистская» определяли иногда теорию Эйнштейна).

После доклада меня окружила толпа, желающая узнать подробности вычислений. Среди этих энтузиастов

я сразу обратил внимание на высокого худощавого, рыжеватого юношу, типичного американца. Заметил его я еще за пару дней перед этим — он был вообще первым для меня иностранцем, краткое научное сообщение которого я слышал в Лондоне. Насколько я помню, он говорил тогда о гравитационном поле цилиндра. Его сообщение меня живо заинтересовало каким-то трудно уловимым на первый взгляд, но совершенно определенным сходством в методе рассуждений его и моем. После моего доклада Кип Торн (так звали юношу) помог мне объясняться с желавшими обсудить доклад, ибо тогда мой английский язык был более чем далек от совершенства. Мы потом продолжили наше обсуждение. Общность научных интересов и, что не менее важно, общность его и моего видения мира (то, что называют у нас родством душ) быстро стала очевидной для меня. Вскоре мы стали настоящими друзьями. Несмотря на географическую разобщенность (разница во времени между Калифорнией в США, где живет Торн, и Москвой одиннадцать часов) и несмотря на (иногда) годы без личных встреч, эта большая дружба продолжается и поныне. Из готовящейся к печати книги К. Торна «Кривое пространство и деформированное время» (Нортон, Нью-Йорк, 1990) я узнал, что сходные впечатления о наших встречах остались и у него.

Часто наши оценки жизненных явлений оказываются похожими, наши симпатии вызывают одни и те же женщины, и уже как-то само собой получалось, что иногда мы одновременно начинали работать над одинаковыми проблемами. Во время моего последнего посещения лаборатории К. Торна в Калифорнийском Технологическом институте (он является там профессором, членом Академии наук США) я выступил у него на семинаре и критически отозвался о доказательстве теоремы в одной недавней работе (выполненной другими авторами). Только я раскрыл рот, чтобы высказать свои аргументы, как Кип (он тоже читал эту работу) сказал: «Игорь, я знаю, что ты сейчас произнесешь». Я был поражен, мы сравнили свои аргументы, и они в действительности точно совпали. Еще не придя в себя, я растерянно спросил — откуда все же происходит такая идентичность в мыслях. К. Торн, улыбаясь, ответил: «У нас общий «фон», чуть ли не четверть века знакомства и доскональное знание работ друг друга». (Кип являлся редактором переводов наших с Я. Зельдовичем книг, из-

данных в США, а я редактировал его книги, переведенные у нас в стране.)

Через три года после конференции в Лондоне Кип приехал в нашу страну на Международную конференцию по гравитации в Тбилиси. Он сообщил мне, что, несмотря на огромный интерес, вызванный нашей работой о коллапсе несферического тела, не все специалисты за рубежом согласны с ее важнейшим выводом о том, что черная дыра образуется и при сжатии несферического тела. Среди скептиков был крупный теоретик В. Израэль. К. Торн сказал, что сомнение вызывает сделанное нами предположение о том, что при сжатии тела до размеров гравитационного радиуса небольшие отклонения от сферичности не могут стать сколь угодно большими. Физическая интуиция, прививаемая нам Я. Зельдовичем, подсказывала, что такое предположение совершенно очевидно. Но математики требовали доказательств, и я занялся этой работой.

Через год, когда К. Торн вновь побывал в СССР и, проработав у нас в группе полтора месяца, уезжал домой, я смог уже дать ему мою работу с необходимым доказательством. Оно, насколько я знаю, убедило всех.

В этой работе я показал, что если сферическое тело имеет на поверхности небольшую «рябь» и сжимается до размеров гравитационного радиуса, то «рябь» хотя и возрастает немного в ходе гравитационного сжатия, но все же остается малой, вовсе не стремясь «раздуться» до больших размеров. Обоснования именно этого факта — что «рябь» остается малой, и не хватало в нашей первой работе. Я придумал математическое доказательство, которое было очень простым и казалось мне почти тривиальным. К моему удивлению, наши коллеги за рубежом сочли его неожиданным. Наверное, мне удалось сравнительно просто провести доказательство, потому что я был знаком с работами о математических способах построения так называемых «общих решений» в теории Эйнштейна. Эти построения развивались советскими физиками (впоследствии академиками) Е. Лифшицем и И. Халатниковым. Я также знал работы советского математика А. Петрова, и мне оставалось модифицировать и развить все эти идеи в применении к анализируемой проблеме.

Приведенный пример еще раз показывает, насколько важным является знакомство со смежными областями науки.

В конце 60-х годов, о которых сейчас идет речь, поездки советских физиков в США и американских к нам были куда менее частые, чем сегодня. И каждая поездка тогда была событием, о котором подробно рассказывалось на научных семинарах. Из поездок мы возвращались с новой информацией о том, что делают наши коллеги. Но не менее важно, что мы узнавали и то, как это делается, изучали новый стиль работы, методы, часто сильно отличавшиеся от наших. Ничто не может более пагубно сказываться на научных исследованиях, чем изолированность, оторванность от мировой науки, невозможность широко и часто общаться с коллегами. Неспециалисту иногда даже трудно понять, насколько сильно стимулируется работа постоянными дискуссиями, обменом мнениями, просто окружением людей, представляющих другие научные школы, другие методы и направления, конечно, если это исследователи с переднего края науки.

В феврале 1967 года я вернулся в Москву из первой поездки в США на так называемый Техасский симпозиум (название «Техасский» связано с местом проведения первого симпозиума) по релятивистской астрофизике, проводившийся в Нью-Йорке. Это был второй симпозиум такого рода, и он отражал резкое изменение ситуации в теоретической и наблюдательной астрофизике.

Многие специалисты осознали, что в природе должны существовать небесные тела, кардинально отличающиеся от всего того, что знали до сих пор астрономы. Они должны быть непохожи ни на обычные звезды, ни на планеты, ни на рассеянный газ. Эти гипотетические тела имеют огромные гравитационные поля, которые описываются общей теорией относительности. Отсюда и их название — релятивистские объекты, и название самого симпозиума. Речь шла о неоткрытых тогда нейтронных звездах и черных дырах.

Наша делегация АН СССР состояла всего из трех человек — В. Гинзбурга, И. Шкловского и меня. Общее же количество участников достигало нескольких сотен человек. Несмотря на наши отчаянные усилия получить наибольшую информацию и поговорить с максимумом коллег, мы физически не могли охватить всего интересного. Хотя с тех пор прошло более двадцати лет и многое изменилось, но и сейчас, к сожалению, происходят величайшие безобразия, когда наши делегации астрономов и физиков на международных форумах

в десятки (а иногда в сотни!) раз менее многочисленны, чем делегации не только США, но и значительно меньших (и менее развитых) стран. Такая якобы «экономия средств» наносит огромный вред не только науке вообще, так как наши физики и астрономы по многим вопросам занимают ведущие позиции, но и дальнейшему развитию исследований у нас в стране, да и всему нашему общему делу.

После симпозиума мы были приглашены в разные научные центры. Я, в частности, побывал в Принстоне, в Институте высших исследований, где провел последние десятилетия своей жизни А. Эйнштейн. Мы были вместе с К. Торном гостями Дж. Уилера и жили у него в доме (К. Торн — ученик Дж. Уилера). Возможность постоянного тесного общения с этими физиками разных поколений показала, насколько серьезно отношение на Западе к проблеме поиска релятивистских небесных тел.

Надо подчеркнуть, что пионерами в организации поисков релятивистских объектов во Вселенной были в 1965 году Я. Зельдович и О. Гусейнов — молодой (тогда!) азербайджанский астрофизик, работавший в нашей группе. Трудности поисков таких небесных тел заключаются в следующем.

Теории были известны два вида релятивистских тел — нейтронные звезды и черные дыры. Нейтронные звезды имеют размер всего в десять километров, и поэтому, даже если их поверхность сильно нагрета, они излучают очень мало света. Черные дыры, как тогда считали, вообще не излучают свет. Значит, и те и другие должны быть вовсе невидимы с больших расстояний, отделяющих нас от этих небесных тел.

Как же их обнаружить?

Советские физики В. Брагинский и А. Полнарёв как-то пошутили по этому поводу, что обсуждение проблемы выглядело аналогично разговору Короля и Алисы в сказке Л. Кэрролла «Алиса в Зазеркалье».

«— Взгляни-ка на дорогу! Кого ты там видишь?

— Никого, — сказала Алиса.

— Мне бы такое зрение! — заметил Король с завистью. — Увидеть Никого! Да еще на таком расстоянии!»

Но Я. Зельдович и О. Гусейнов обратили внимание на то, что невидимые релятивистские объекты должны обладать огромным гравитационным полем. Именно это поле и может помочь обнаружить их. По мнению совет-



ских ученых, релятивистские тела надо искать в составе двойных звездных систем, когда тяготение невидимого тела влияет на движение близлежащей звезды. По особенностям в движении видимой звезды и можно судить о наличии невидимого напарника.

После знакомства К. Торна с работой физиков нашей группы он увлекся идеей обнаружения релятивистских тел во Вселенной. Это служит примером, когда наши исследования подтолкнули американских физиков. К. Торн вместе с В. Тримбл составили список звезд, вблизи которых было заподозрено существование невидимых объектов с сильным тяготением. Увы! Подробное изучение звезд их списка, как и звезд, предложенных другими авторами, не привело к открытию релятивистских небесных тел.

Нейтронные звезды были открыты случайно в 1967 году английскими радиоастрономами по их характерному радиоизлучению.

Открытие черных дыр затянулось. В 1966 году мы с Я. Зельдовичем, а в 1967 году И. Шкловский отметили, что черные дыры (и нейтронные звезды) могут быть мощнейшими источниками рентгеновского излучения. Это случится, если совсем близко от черной дыры находится нормальная звезда. Тогда тяготение черной дыры заставит газ из атмосферы нормальной звезды-компаньона перетекать к ней, закручиваться вокруг нее в компактный газовый диск. Слои газа в диске из-за трения друг о друга нагреваются до десятков миллионов градусов и, прежде чем упасть в черную дыру, испускают рентгеновские лучи.

Такое рентгеновское излучение делает черную дыру видимой.

В 1972 году были впервые обнаружены рентгеновские источники в составе двойных звездных систем. Часть из них оказалась нейтронными звездами. А другие, как считает большинство специалистов, — черные дыры.

Незадолго до этих событий я познакомился с англичанином С. Хоукингом, впоследствии ставшим одним из самых выдающихся физиков-теоретиков нашего века и, безусловно, самым крупным специалистом по черным дырам. Мы встретились в 1970 году. В городе Брайтоне, находящемся на южном побережье Англии, проходила Генеральная ассамблея Международного астрономического союза. Молодой английский астроном М. Лонгей-

ер, долгое время стажировавшийся в Москве под руководством Я. Зельдовича, пригласил нескольких советских делегатов посетить Институт астрономии в городе Кембридже и знаменитую радиоастрономическую обсерваторию. Именно на этой обсерватории молодой студенткой-исследовательницей Дж. Белл и ее руководителем А. Хьюшием за три года до этого были открыты нейтронные звезды по их пульсирующему радиоизлучению.

С нескрываемым удивлением я разглядывал своеобразный радиотелескоп, на котором было сделано открытие. Он представлял собой небольшое поле с вбитыми кольями, на которые натянуты горизонтальные ряды проволоки, являющиеся радиоантеннами. В значительной мере телескоп был сделан руками студентов. Эта необычная «машина» позволила открыть небесные тела, где поле тяготения настолько велико, что, для того чтобы вырваться из него, необходима скорость, почти равная скорости света.

Нейтронные звезды оказались своеобразным полигоном для исследования многих удивительных явлений. Так, например, у них настолько сильное магнитное поле, что в каждом кубическом сантиметре у поверхности содержится энергия, эквивалентная ста граммам массы! Такая плотность в сто раз больше, чем плотность воды, и превышает плотность любого минерала или химического элемента в естественных условиях. И все это только магнитное поле, которое мы привыкли воспринимать как нечто почти эфемерное.

Из-за сильного поля тяготения на поверхности нейтронной звезды время течет в полтора раза медленнее, чем у нас. А в центре такой звезды замедление времени составляет уже более двух с половиной раз.

Еще по дороге в Кембридж мы договорились с М. Лонгейером, что я навещу дома С. Хоукинга. Дома — потому что он был уже тогда тяжело болен атрофирующим латеральным склерозом. Эта болезнь поражает центральную нервную систему, ведет к постепенной атрофии мышц и через несколько лет — к смерти. С. Хоукинг заболел, когда ему было немногим более двадцати лет и он должен был заканчивать свою диссертацию. (В Англии, как и в большинстве зарубежных стран, защищается только одна диссертация на звание доктора философии, а не две — кандидатская и докторская, — как у нас.) Легко понять, что он был травми-

рован известием о прогрессирующей болезни, не видел смысла заканчивать диссертацию, забросил науку и начал пить. К счастью, прогрессирующее ухудшение здоровья замедлилось, и судьба улыбнулась ему: он встретил очаровательную девушку — Джейн и обручился с ней. Событие стало поворотом в жизни. Впоследствии он вспоминал: «Для того чтобы жениться, я должен был найти работу, а для того, чтобы получить работу, я должен был закончить диссертацию. Впервые в жизни я начал серьезно трудиться. К своему удивлению, я обнаружил, что это мне нравится».

К моему приезду в Кембридж С. Хоукинг уже был известен своими исследованиями о начале расширения Вселенной (об этом мы еще будем говорить). Он доказал, что Вселенная начала расширяться с состояния чрезвычайно большой плотности и большого поля тяготения, как говорят физики — с сингулярного состояния. И я с интересом ждал встречи с ним.

С. Хоукинг всегда поражал людей при первом знакомстве. Через несколько минут полностью забываешь, что ты находишься рядом с тяжело больным человеком, почти полностью лишенным возможности двигаться. Он весел, оживлен. У него необыкновенные лучистые глаза. Сразу ощущаешь бесконечную глубину его интеллекта и непрерывно воспринимаешь красоту этих глаз.

Мне было трудно понимать его речь, так как говорил он с большим трудом, но М. Лонгейер, давно общавшийся с ним, помог мне в интерпретации его слов. Я рассказал С. Хоукингу, что мы делали тогда вместе с Я. Зельдовичем в Москве. Мне почему-то казалось, что математические детали не должны его интересовать, и я вскользь заметил, что опущу их в рассказе. На это он, улыбнувшись, ответил, что это самое важное. И я, и он в то время много занимались космологией. Но из разговора я почувствовал, что его настоящий интерес определенно поворачивается к черным дырам. Что касается меня, то я всегда считал, что именно в черных дырах находится ключ к постижению многих глубинных тайн природы.

К счастью, с годами болезнь С. Хоукинга стабилизировалась. Несмотря на первоначальные мрачные прогнозы врачей (и, очевидно, благодаря их заботам и силе духа самого С. Хоукинга), он продолжает жить и работать. Его интеллект, по-моему, становится все более глубоким, хотя, к сожалению, сейчас он не владеет по-

что никакими мускулами. Он может передвигаться только на специальной коляске, которой управляет с помощью электроники пальцами левой руки. Он полностью потерял способность говорить и общается с помощью компьютера. Но по-прежнему не потерял чувство юмора, активен, весел, участвует в экскурсиях, в посещении театров и ресторанов, принимает у себя дома гостей, всегда окружен людьми.

И самое главное — он работает как никто другой. Научный мир поражается его глубоким идеям, которые появляются одна за другой. Все они необычны. Я наверняка не ошибусь, сказав, что общаться с ним для всех коллег — счастье.

С. Хоукинг много раз бывал у нас в стране. Последний раз такой визит был летом 1988 года. Он посетил международную конференцию в Ленинграде, посвященную 100-летию юбилею А. Фридмана, создателя теории расширяющейся Вселенной, выступил с докладом, участвовал во многих экскурсиях, объездил город. Во время конференции я взял у него интервью для советского телевидения.

У С. Хоукинга трое детей: два сына, которым сейчас двадцать один год и девять лет, и дочь восемнадцати лет. Интересно, что он родился восьмого января 1942 года — ровно триста лет спустя после смерти Г. Галилея (это он сам часто отмечает). О себе он говорит: «Помимо того что я был столь неудачлив, что заболел АЛС, или двигательной нейронной дисфункцией, я был счастлив почти во всех других отношениях. Та помощь и поддержка, которую я получил от моей жены Джейн и моих детей Роберта, Люси и Тимми, сделали возможным для меня вести довольно нормальную жизнь и осуществить успешную карьеру. Я был счастлив и в том, что выбрал теоретическую физику, так как она вся содержится в уме. Поэтому моя физическая немощь не была серьезной помехой. Мои научные коллеги все без исключения оказывали максимальную помощь».

Следующая после первого знакомства наша встреча с С. Хоукингом произошла в 1972 году. Несколько приглашенных специалистов из разных стран, в том числе С. Хоукинг и я, читали лекции по физике черных дыр на Международной школе в городе Лезуше во Французских Альпах. С. Хоукинг приехал туда со своей очаровательной женой и двумя детьми, которые были тогда совсем маленькими. Джейн запомнила мои рассказы

о пристрастии моего маленького сынишки к игрушечным автомобилям и специально привезла ему в подарок от своей семьи маленькую игрушку — автомобиль. Тогда Хоукинг еще самостоятельно читал лекции, хотя говорить ему было очень трудно. Основные тезисы он заранее диктовал помощникам, и они демонстрировали их во время лекций, а Хоукинг только давал пояснения.

Вечерами мы часто собирались вместе в уютных холлах школы. Много говорили о науке и жизни. С. Хоукинг рассказывал о том, как он в юности увлекался фигурным катанием. Было обидно видеть, как жестоко поступила судьба с этим энергичным, улыбчивым, остроумным человеком. И тем не менее по своему задору он не уступал даже экспансивному молодому профессору-итальянцу Р. Руффини, также читавшему лекции в Лезуше. Наши лекции были затем изданы в виде книги, ставшей первым полным изложением физики черных дыр, явившимся отправной точкой многочисленных дальнейших исследований.

Характерной особенностью нового подхода к проблеме черных дыр было то, что на них перестали смотреть как на нечто кладбищенское — как на «гравитационные могилы», куда материя может только упасть и исчезнуть для внешнего наблюдателя. На самом деле черная дыра своим мощным полем тяготения взаимодействует с окружающей средой, вызывает бурные физические процессы. Как выразился Р. Руффини — черные дыры отнюдь не мертвы, они «живые». В частности, нагретый поток газа в диске, закручивающемся вокруг черной дыры, входящей в состав двойной звездной системы, должен вызвать рентгеновское излучение.

Как уже говорилось, в 1972 году были открыты первые рентгеновские источники в составе двойных звездных систем. Один из них, носящий название Лебедь X-I (что расшифровывается так: X — рентгеновский, Лебедь — название созвездия, I — номер по порядку), по всем своим параметрам свидетельствовал о наличии там черной дыры с массой примерно с десятков масс Солнца.

Естественно, в Лезуше мы много обсуждали новые открытия. Шутка ли, ведь подозревалось открытие дыр в пространстве и времени. Мы разделились на оптимистов и скептиков. Оптимисты утверждали, что открытие состоялось. Скептики призывали к осторожности и тщательной проверке фактов.

Я сразу поверил в это открытие. Сейчас мне кажется

ся, что интуиция меня не обманула, хотя с годами я стал более осторожным. Близкую к моей точку зрения занимал К. Торн (он также читал тогда лекции в Лезуше), хотя и считал, что открытие нуждается в дополнительной проверке. Через два года, когда сведений об источнике в созвездии Лебедь прибавилось, К. Торн писал: «Эти доказательства на девяносто процентов убедили меня и многих других астрономов в том, что в центре Лебеда X-I действительно находится черная дыра».

С. Хоукинг занимал более осторожную позицию. В 1988 году, вспоминая те годы, он писал: «Кажется, что только черная дыра может действительно естественным образом объяснить наблюдения. Несмотря на это, я заключил пари с Кипом Торном из Калифорнийского Технологического института о том, что в действительности Лебедь X-I не содержит черную дыру! Это явилось для меня формой страхового полиса. Я сделал много работ, посвященных черным дырам, и это все оказалось бы впустую, если бы выяснилось, что черные дыры не существуют. Но в этом случае я имел бы утешение, выиграв пари, что дало бы мне четырехгодичную подписку на журнал «Private Eye». Если же черные дыры существуют, Кип получил бы годовую подписку на «Penthouse». Когда мы заключали пари в 1975 году, мы были на 80 процентов уверены, что Лебедь является черной дырой. Теперь я сказал бы, что у нас есть 95-процентная уверенность, но наше пари все еще ждет решения».

Пари было действительно заключено по всем правилам и даже официально опубликовано в книге. Для того чтобы читатель мог полностью оценить юмор спорщиков, следует пояснить, что оба журнала, фигурирующие в условиях пари, имеют весьма и весьма легкомысленное содержание. Но если говорить серьезно, то С. Хоукинг, наверное, дает правдоподобную оценку степени надежности открытия черной дыры. Я бы все же уточнил, что наша уверенность в открытии близка к 99 процентам. Конечно, астрономы осторожничают, потому что речь идет не просто о новых небесных телах, а о дырах в пространстве и времени.

Давайте теперь вернемся к физике этих удивительных объектов. Мы не собираемся здесь описывать сколько-нибудь подробно их свойства. Нас в основном интересует, как течет внутри их время.

Я уже говорил, что на границе черной дыры бег времени с точки зрения внешнего наблюдателя замедляется, как замедляется течение воды у берега реки.

Казалось бы, нас не должен интересовать вопрос о том, что происходит внутри дыры. Действительно, мы не можем ни заглянуть туда, ни получить оттуда какую-либо информацию. Выходит, что внутренность черной дыры отделена от нашей Вселенной непроницаемым барьером. Однако такое заключение правильно только наполовину. Граница черной дыры полупроницаема, поскольку в саму дыру можно упасть, но невозможно оттуда выбраться. А что будет с наблюдателем и его кораблем, упавшим в черную дыру? Назад, как мы знаем, они выбраться не смогут. Сила тяготения будет неумолимо тянуть их в глубь черной дыры. И какова их судьба?

Еще не так давно теоретики предполагали, что, проскочив горловину черной дыры, наблюдатель может появиться из другого отверстия этой горловины в «нашем» пространстве вдали от черной дыры, в которую он упал (рис. 5а). Или он сможет даже «вынырнуть» в пространство «другой» Вселенной (рис. 5б).

Если бы это было возможно, то наряду с черными дырами во Вселенной должны были бы существовать и белые дыры; те самые другие отверстия горловины, из которых может «вынырнуть» наблюдатель. В белую дыру нельзя упасть, из нее можно только вылететь. Поистине черные и белые дыры напоминают улицы с односторонним движением транспорта, а горловины часто называют тоннелями. Но эти улицы во времени!

Белые дыры я открыл в 1963 году чисто математическим путем, когда пытался понять, откуда может взяться гигантская энергия, выделяющаяся в квазарах — необычайно мощно излучающих ядрах некоторых галактик. Через год после опубликования этой работы эти гипотетические объекты были независимо переоткрыты Ю. Нееманом — известным израильским физиком, много сделавшим в теории элементарных частиц. Вскоре, однако, Ю. Нееман занялся совсем другими делами и заиграл видную роль в политике. Мы так с ним серьезно никогда и не обсудили проблему белых дыр.

Страстным пропагандистом возможности существования горловин, соединяющих дыры, был Дж. Уилер.

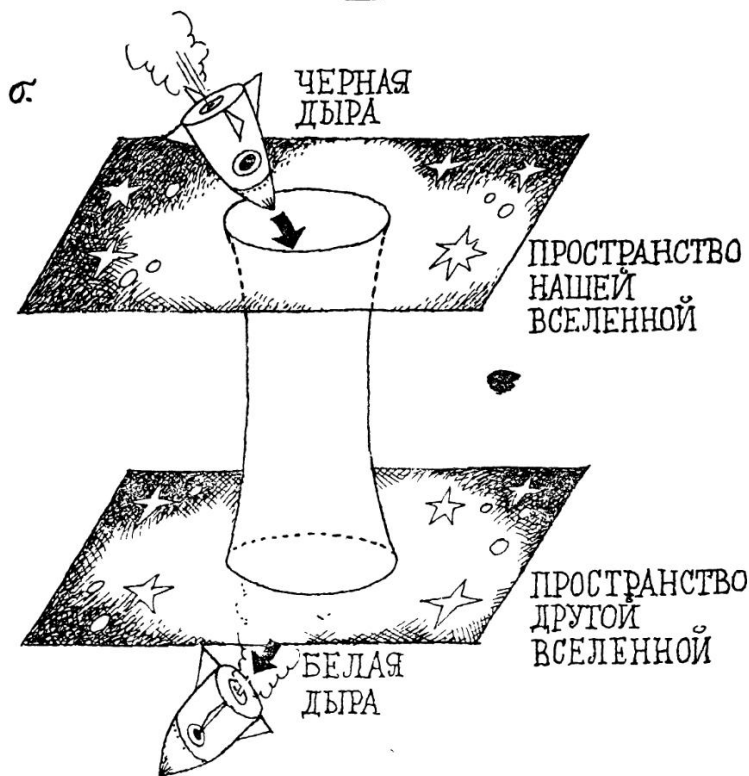
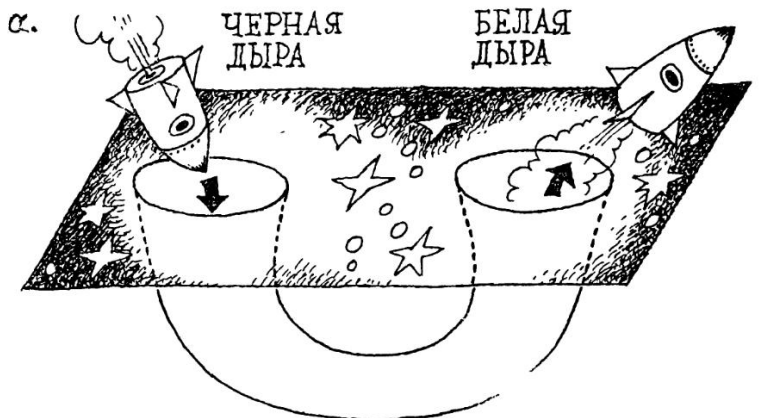


Рис. 5



Математическая теория этих образований была разработана в 1966 году мною, а затем развивалась в США Дж. Бардиным и в Индии Ю. Шахом и П. Вайдья.

Мои исследования того времени по теории горловин понравились академику А. Сахарову, который все больше интересовался проблемой тяготения и космологией. Он в то время развивал космологические теории, имеющие общие моменты с моими исследованиями. Все эти вопросы мы обсуждали между собой и с Я. Зельдовичем. В результате опубликовали с А. Сахаровым препринт Института прикладной математики «Релятивистский коллапс и топологическая структура Вселенной» (1970 г.) со статьями по нашим исследованиям. Этой работой я очень горжусь. Вскоре А. Сахаров выступил официальным оппонентом на защите моей докторской диссертации.

Для доказательства возможности существования в природе белых дыр и горловин (или, как их еще называют, «тоннелей»), ведущих от черных дыр к белым, надо было показать, как говорят физики, устойчивость этих образований. Это означает, что надо было исследовать, с одной стороны, не порождают ли эти образования какие-либо процессы, которые их же и разрушают. С другой стороны, надо было показать, что внешние воздействия, например, падающие в горловину через черную дыру световые лучи, не разрушают ее.

Первое сомнение в устойчивости подобной горловины высказал английский физик Р. Пенроуз. Он отметил следующее обстоятельство. Предположим, что в горловину попадает через черную дыру свет. Тяготение сообщает световым квантам все большую энергию. Кроме того, эта световая энергия сосредоточивается в очень малом объеме при попадании в горловину. Р. Пенроуз опасался, что тяготение такой спрессованной энергии разрушит горловину. Проверкой этой догадки занимались разные специалисты. В конце 70-х годов эта проблема заинтересовала и меня, хотя я и не знал о более ранней работе Р. Пенроуза. Мне удалось увлечь этой идеей еще троих молодых физиков: А. Старобинского — аспиранта Я. Зельдовича, турка Й. Гурсела и американца В. Сандберга — учеников К. Торна. В 1978 году, оказавшись в Калифорнийском Технологическом институте (Калтехе), мы с жаром взялись за дело. Времени было в обрез, и приходилось засиживаться за работой до глубокой ночи. Вот как впоследствии вспоминал об этой работе

К. Торн в книге «Кривое пространство и деформированное время»: «Калтехский консорциум составляли Йекта Гурсел, который вырос в мусульманской семье в Турции, неподалеку от советской границы, и приехал в Калтех для учебы в аспирантуре; Вернон Сандберг, выросший в мармонской семье в Салт Лейк Сити и работал в Калтехе после защиты диссертации; Игорь Новиков, мой близкий русский друг; и Алеша Старобинский, аспирант Зельдовича, приехавший в Пасадену во время его первой поездки на Запад. Какое было наслаждение наблюдать их: турка, американца и двух русских, их — мусульманина, мармона и двух атеистов, — работавших вместе рука об руку, выводящих предсказания из эйнштейновских законов.

Заключение было такое, как и предполагал Р. Пенроуз, но с мощной новой особенностью: неустойчивость, которая запечатывает туннель, может вызываться даже одиночной, произвольно слабой световой волной, влетевшей в черную дыру... Бесконечно усиленное излучение создавало бы согласно вычислениям Гурсела — Сандберга — Новикова — Старобинского столь сильное тяготение, что затворяло бы туннель прежде, чем он мог сформироваться. Вход в туннель замещался непроходимой сингулярностью».

Впоследствии знаменитый индийский физик С. Чандрасекхар и американец Дж. Хартл построили полную математическую теорию этих процессов, а мы со Старобинским рассмотрели квантовые процессы рождения частиц в сильных полях внутри черной дыры, также ведущие к образованию непроходимой сингулярности вместо тоннеля-горловины. Кроме того, выяснилась и неустойчивость белых дыр. Оказалось, что падающее извне вещество быстро превращает белую дыру в черную. Это было доказано в работах американца Д. Эрдли, советского физика В. Фролова и в ряде других работ. С другой стороны, в совместном исследовании Я. Зельдовича, А. Старобинского и моем было показано, что белые дыры активно производят внутри себя вещество в квантовых процессах и тяготение этого вещества также быстро превращает их в черные дыры.

Подведем итог сказанному. И белые дыры, и тоннели оказались крайне неустойчивыми и поэтому в природе в естественных условиях существовать не могут.

Правда, остается еще одна возможность — каким-то искусственным образом подавить неустойчивость и стабилизировать тоннель-горловину. Мы обсудим это в главе «Против течения».

Вернемся, однако, к черным дырам и зададимся таким вопросом: что же произойдет с наблюдателем в действительности, если он отважится отправиться в черную дыру на космическом корабле?

Силы тяготения будут увлекать его в область, где эти силы все сильнее и сильнее. Если в начале падения в корабле (предположим, его двигатель выключен) наблюдатель находился в невесомости и ничего неприятного не испытывал, то в ходе падения ситуация изменится. Чтобы понять, что произойдет, вспомним про приливные силы тяготения. Их действие связано с тем, что точки тела, находящиеся ближе к центру тяготения, притягиваются сильнее, чем расположенные дальше. В результате притягиваемое тело растягивается. (Подобное растяжение испытывает водная оболочка Земли — ее океаны, которые притягиваются Луной, образуя приливы.)

В начале падения наблюдателя в черную дыру приливное растяжение может быть ничтожным. Но оно неизбежно нарастает в ходе падения. Как показывает теория, любое падающее в черную дыру тело попадает в область, где приливные силы становятся бесконечными. Это так называемая сингулярность внутри черной дыры. Здесь любое тело или частица будут разорваны приливными силами и перестанут существовать. Пройти сквозь сингулярность и не разрушиться не может ничто.

Доказать обязательность существования сингулярности внутри черной дыры было нелегким делом. Решающий шаг сделал Р. Пенроуз в 1965 году. Я узнал об этой работе от Е. Лифшица, когда мы с А. Дорошкевичем пришли к нему рассказать о наших вычислениях образования черной дыры при сжатии сферического тела с «рябью». Е. Лифшиц заинтересовался нашим объяснением: «Вы, по существу, доказываете, что тело с отклонениями от сферичности образует при сжатии черную дыру такую же, как и совершенно сферическое тело. Но очень важно узнать еще, чем же кончится сжатие самого тела внутри черной дыры. Я только что просмотрел работу Р. Пенроуза об этом».

И он передал нам краткую заметку английского ма-

тематика. В ней в необычайно элегантной форме доказывалось, что если уж образовалась черная дыра, не выпускающая тяготением даже свет, то внутри ее неизбежно будут места с бесконечно сильной гравитацией — то есть очаги сингулярности. Я помню смешанное чувство и радости, и некоторого разочарования, охватившее меня. Дело в том, что я сам пытался доказать то, что сделал Р. Пенроуз, но безуспешно. Радость была связана с тем, что догадка оказалась правильной, а разочарование (вполне понятное) с тем, что интересное доказательство найдено не мною.

В дальнейшем, к началу 70-х годов, Р. Пенроуз и С. Хоукинг доказали целый ряд важных теорем о сингулярностях в черных дырах.

Итак, внутри черной дыры падающее тело неизбежно наталкивается на сингулярность. Читатель наверное помнит (см. стр. 94), что внутри черной дыры радиальное пространственное направление становится временем. Расстояние от горизонта до центра конечно. Значит, и промежуток времени, в течение которого могут существовать тела внутри черной дыры, конечен и даже очень мал. Так, для черной дыры с массой в десять масс Солнца он составляет всего одну десятитысячную секунды. Для гигантских черных дыр в миллиард масс Солнца (которые, вероятно, существуют в центрах галактик) это всего несколько часов. К сингулярности сходятся все линии времени внутри черной дыры, и в области сингулярности будет разрушено любое тело.

Но если такой исход совершенно неизбежен для любых тел внутри черной дыры, то это означает, что в сингулярности перестает существовать и время. «Как же так? — может спросить читатель. — А что же будет потом? Пусть даже обломки тел, но они все же будут существовать после такой катастрофы? А значит, и время будет продолжать свой обычный бег, хотя в этом времени и произошли столь разрушительные явления в сингулярности?»

В том-то и дело, что это не так. Вспомним, что свойства времени зависят от протекающих процессов. Теория утверждает, что в сингулярности свойства времени изменяются настолько сильно, что его непрерывный поток обрывается, оно распадается на кванты. Здесь надо еще раз вспомнить, что теория относительности показа-

ла необходимость рассматривать время и пространство совместно, как единое многообразие. Поэтому правильнее говорить о распаде в сингулярности на кванты единого пространства-времени.

Точной теории этого явления пока нет. Мы можем указать лишь на самые общие черты того, что должно происходить. Прежде всего возникает вопрос: каковы размеры этих квантов пространства-времени? Оказывается, на этот вопрос можно ответить, даже не имея подробной теории.

Еще основатель идеи о существовании квантов в физических процессах М. Планк высказал догадку, что если в каком-либо явлении будут иметь место и сверхбыстрые скорости, равные скорости света, и сильные поля тяготения, и квантовые свойства материи, то наименьший промежуток времени (квант времени) может быть вычислен просто из знаний величины скорости света  $c$ , постоянной тяготения Ньютона  $G$  и квантовой постоянной  $h$ , введенной в науку самим М. Планком. Он рассчитал, что этот промежуток времени, названный планковским временем, составляет совершенно ничтожную величину. В секундах он выражается дробью, в числителе которой единица, а в знаменателе единица с сорока четырьмя (!) нулями.

Так как время и пространство едины, то можно говорить и о пространственной протяженности этих своеобразных квантов. Эта протяженность (она называется планковской длиной) выражается в сантиметрах дробью с единицей в числителе и с единицей с тридцатью тремя нулями в знаменателе. И во времени, и в пространстве планковские протяженности ничтожны.

По-видимому, промежутков времени меньше, чем планковский, быть не может. Это хотя и необычно, но не столь уж неожиданно. Ведь мы знаем из квантовой физики, что существует, например, квант электрического заряда или минимальная порция световой энергии данной частоты — квант света.

Не столь уж удивительно, что может существовать и квант времени. XX век приучил нас к научным чудесам. Заметим, что такое представление о природе времени связано с принципиальной необходимостью квантовых проявлений буквально всех процессов в сингулярности.

Когда мы переходим к условиям, где все определяет-

ся квантовостью материи, то и время приобретает квантовые черты (в очень малых масштабах). С этой точки зрения непрерывный поток времени состоит из ненаблюдаемого истинно дискретного процесса, подобно рассматриваемому издали непрерывному потоку песка в песочных часах, хотя этот поток состоит из дискретных песчинок.

Итак: в сингулярности внутри черной дыры время распадается на дискретные кванты и, по-видимому, с приближением к сингулярности на промежутки времени, равные планковскому; и не имеет больше смысла спрашивать, что будет, если пройдет еще немного времени по часам падающего наблюдателя. Промежуток этот разделить на части уже принципиально нельзя, как нельзя разделить на части фотон. Понятия «раньше» и «позже» полностью теряют смысл, и, возможно, оказывается бессмысленным вопрос: что будет после сингулярности?

Чтобы как-то пояснить эту мысль, приведем такую аналогию. Вспомним движение электрона в атоме по одной из стационарных орбит. На классическом языке мы говорим «электрон движется». Но на квантовом языке говорить здесь о движении нельзя; правильнее сказать, что электрон находится в определенном состоянии, описываемом неизменной во времени волновой функцией, дающей вероятность пребывания электрона в том или ином месте.

Наверное, и «течение времени» в квантовой теории сингулярности необходимо описывать чем-то подобным волновой или вероятностной функции, хотя выражение «вероятность протекания такого-то промежутка времени» и кажется совершенно необычным.

Подведем итог сказанному. В сингулярности свойства времени, вероятно, сильнее всего изменяются, приобретая квантовые черты. Река времени дробится здесь на неделимые капли... Неправильно сказать, что сингулярность есть граница времени, за которой существование материй происходит уже вне времени. Но следует сказать, что пространственно-временные формы существования материи приобретают здесь совсем особый характер, а многие привычные понятия становятся даже бессмысленными. О характере законов природы в сингулярности мы можем пока только догадываться.

Все сказанное о сингулярности в черных дырах пока

только выводы теоретиков, хотя и опирающиеся на всю современную физику. Это передний край науки, и многое еще будет уточняться. Но следует помнить, что черные дыры, в которых обязаны существовать сингулярности, ограничивающие поток обычного непрерывного времени, реально существуют во Вселенной. Несколько таких объектов с большой степенью надежности уже открыты астрофизиками. Открыты своеобразные стоки реки времени — эти омуты, из которых нет возврата.



## ЭНЕРГИЯ ИЗ ЧЕРНЫХ ДЫР

Наш рассказ о дырах в пространстве и времени был бы неполон без упоминания об удивительном их свойстве — непрерывно выделять энергию. Такая их особенность является одним из проявлений не до конца еще разгаданной связи между временем и энергией. Подобная связь четко обнаруживается, когда существенными становятся квантовые свойства материи.

Прежде всего надо сказать несколько слов о пустом пространстве и его квантовых свойствах.

Согласно современным представлениям вакуум не является абсолютной пустотой, «совершенным ничем». Это «море» всевозможных так называемых виртуальных частиц и античастиц, которые не проявляются как реальные частицы. Но в нем все время непрерывно про-



исходит рождение на короткое мгновение пар виртуальных частиц и античастиц, которые тут же исчезают. В реальные частицы они превращаться не могут, так как это означало бы появление реальной энергии, которой взяться в пустоте неоткуда. И только на короткий миг соотношение неопределенностей квантовой физики позволяет появиться частицам. Это соотношение утверждает, что произведение времени жизни виртуальной пары частиц  $t$  на их энергию  $E$  порядка постоянной Планка  $h$ . Реальные частицы всегда можно убрать из какого-то объема пространства. Но виртуальные частицы в принципе неустранимы.

Таковы свойства пустоты. Если на вакуум наложить какое-либо сильное поле, то под его действием некоторые виртуальные частицы могут «набрать» достаточную энергию, чтобы стать реальными, энергию они почерпнут из внешнего поля. Так в сильном поле происходит рождение реальных частиц из вакуума за счет энергии этого поля.

Этот факт давно и хорошо известен; например, в сильном электрическом поле из вакуума рождаются такие заряженные частицы, как электроны и позитроны.

Обратимся теперь к черным дырам. В 1977 году Я. Зельдович и А. Старобинский рассмотрели процессы в вакууме вблизи вращающейся черной дыры. Дело в том, что при образовании черной дыры, когда сжимается вращающаяся масса, вокруг этой дыры, помимо гравитационного поля, тянувшего все тела к центру, возникает еще поле, увлекающее движущиеся тела во вращение вокруг нее — то есть возникает вихревое поле тяготения. Такие черные дыры называются вращающимися.

Я. Зельдович и А. Старобинский показали, что вблизи такой дыры происходит рождение квантов излучения за счет энергии вихревого поля тяготения. В результате вращательная энергия черной дыры постепенно переходит в излучение. Этот процесс очень медлен. Так, для черной дыры с массой в десять масс Солнца и максимально быстром вращении за все время существования Галактики (около 10 миллиардов лет) излучается всего несколько сотых долей эрга — совершенно ничтожная величина.

Осенью 1973 года Я. Зельдович и А. Старобинский рассказали о своих вычислениях С. Хоукингу, приехавшему в Москву. Тот, вернувшись домой, стал проверять

выводы московских физиков своим математическим методом. «Когда я проделал вычисления, — вспоминал он, — я обнаружил, к моему удивлению и досаде, что даже невращающиеся черные дыры должны порождать и излучать частицы в постоянном темпе. Сначала я подумал, что наличие этого излучения означает, что одно из использованных мной приближений неправильно... Однако, чем дальше я размышлял, тем более очевидным становилось, что использованные приближения справедливы... С тех пор вычисления были повторены многими разными методами другими людьми. Все они подтвердили, что черная дыра испускает частицы и излучение, как если бы она была горячим телом с температурой, которая зависит только от ее массы: чем больше масса, тем меньше температура».

Так было сделано замечательное открытие.

Попытаемся хотя бы приближенно пояснить процесс излучения. Весьма существенно, что он имеет квантовый характер. Виртуальные частицы в вакууме рождаются на некотором расстоянии друг от друга. В случае поля тяготения черной дыры одна частица может родиться вне горизонта, другая под горизонтом. Та, что родилась вне горизонта, может улететь в пространство, другая же будет падать в черную дыру и никогда не попадет к далекому наблюдателю. Вновь слиться и исчезнуть, как это случается с виртуальными частицами в обычном вакууме, они уже не могут. Так в пространстве возникает поток частиц от черной дыры. В этом случае энергия ее расходуется, а сама черная дыра уменьшается в размере. С. Хоукинг показал, что энергию она излучает так, как будто ее поверхность нагрета до определенной температуры.

Следует сразу же подчеркнуть, что температура черных дыр звездной массы совершенно ничтожна. Так, для черной дыры в 10 масс Солнца температура равна всего одной десятиллионной доле градуса шкалы Кельвина. Чем больше масса, тем меньше температура, поэтому для сверхмассивных черных дыр температура их и вовсе пренебрежимо мала. И наоборот, чем меньше масса черной дыры, тем выше ее температура, тем быстрее идет процесс превращения ее массы в излучение. Как уже было сказано, черные дыры звездной массы излучают ничтожно мало. В естественных условиях они поглощают гораздо больше энергии в виде падающего в них излучения или разреженного вещества. Но

достаточно малая черная дыра может излучать энергию в заметном темпе, и к ней как к источнику энергии следует отнестись серьезно. Так, черная дыра с массой миллиард тонн (масса небольшой горы) будет испускать сто миллионов миллиардов эрг в секунду на протяжении десяти миллиардов лет. Температура ее при этом будет равна около ста миллиардов градусов. Заметим, что это в десять тысяч раз больше, чем температура в недрах Солнца. Размеры рассматриваемой черной дыры сверхмикроскопические — они порядка размеров атомного ядра.

Если чрезвычайно медленный процесс потери энергии черной дырой звездной массы на квантовое излучение называют квантовым испарением, то излучение энергии маломассивными черными дырами испарением уже не назовешь, это вполне реальное свечение. В ходе такого свечения масса таких дыр уменьшается во всевозрастающем темпе. Когда она уменьшится до одного миллиона тонн, то температура излучения достигнет ста миллионов миллиардов градусов. Процесс излучения превратится во взрыв. Последние тысячи тонн взрываются за одну десятую долю секунды, превращаясь в энергию, что соответствует взрыву одного миллиона мегатонных водородных бомб. Таким образом, квантовое выделение энергии маломассивными дырами весьма эффективно. Но могут ли такие черные дыры возникать?

Как мы уже подчеркивали, искусственное их изготовление совершенно нереально, по крайней мере при современном уровне науки. А могут ли они возникнуть в природе?

Мы в дальнейшем увидим, что ответ на этот вопрос положителен. Черные мини-дыры могли возникать в начале расширения Вселенной. Почему же им не образоваться в сегодняшней Вселенной и их очень трудно изготовить даже в принципе в лаборатории?

Дело в том, что для этого необходимо сжать вещество до очень большой плотности. Чтобы превратить Солнце в черную дыру, его вещество необходимо сжать до ядерной плотности; а для превращения Земли в черную дыру потребуется сжать ее вещество до плотности, еще в сто миллиардов раз большей.

Для столь чудовищного сжатия требуются огромные силы. В массивных звездах эти силы обеспечивает их гравитация. В случае же малых масс гравитации явно недостаточно, и требуется большое внешнее давление.

Ни в природе, ни в современных лабораториях таких колоссальных сил нет.

Но если мы обратимся к прошлой истории Вселенной (об этом мы поговорим далее), то легко заметим, что в самом начале ее расширения, около 15 миллиардов лет назад, были условия, благоприятные для возникновения маленьких черных дыр. Действительно, тогда все вещество находилось в состоянии огромной плотности и никакого дополнительного сжатия не требовалось. Правда, это вещество расширялось с громадной скоростью. Поэтому для формирования черной дыры необходимо, чтобы в небольшом объеме либо скорость расширения вещества была меньше, либо вещества было несколько больше, чем в таких же соседних объемах. Тогда силы тяготения смогли бы затормозить расширение в этом объеме и через некоторое время обратить его в сжатие, после чего возникла бы маленькая черная дыра. На такую возможность в 1966 году указали Я. Зельдович и я, а в 1971 году С. Хоукинг.

Итак, во Вселенной на раннем этапе могли возникать маленькие черные дыры, причем их масса могла быть намного меньше масс звезд. Что же с ними стало в дальнейшем?

Их судьба зависела от массы. Малые черные дыры стали излучать квантовым образом. Как показывают расчеты, к нашему времени успели полностью «испариться» все черные дыры с массой меньше миллиарда тонн. Более тяжелые дожили до наших дней. Могут ли они быть обнаружены астрономическими методами, если действительно существуют во Вселенной?

Самым действенным способом их обнаружения являются попытки детектировать создаваемое ими жесткое квантовое излучение. Наблюдение таких квантов, проходящих из космоса, могло бы помочь обнаружить первичные черные дыры. Пока же они не обнаружены. И можно только сказать, что количество черных дыр с массой около миллиарда тонн во Вселенной должно быть в среднем не больше тысячи на каждый кубический световой год. Если бы их было больше, то общее их излучение было бы заметно. Число «тысяча», конечно, внушительное, но вспомним, что масса их ничтожна по сравнению с массой звезд.

Только будущие наблюдения покажут, существуют ли черные мини-дыры во Вселенной.

Из нашего предыдущего рассказа ясно, что в приро-

де, вероятно, есть массивные черные дыры звездного происхождения, сверхмассивные — в центрах галактик и, возможно также, мини-дыры ранней Вселенной. В будущем все эти черные дыры могут использоваться как источник энергии.

Принципы использования их могут быть разными. Например, можно представить себе достаточное число черных мини-дыр, движущихся на орбитах вокруг Земли и излучающих квантовым образом. Но как вывести такую дыру на околоземную орбиту? Как вообще транспортировать черные дыры? Это ведь не обыкновенное тело. У черной дыры нет материальной поверхности. Ее нельзя зацепить канатом и отбуксировать в нужное место. К черной дыре не приделаешь реактивный двигатель, чтобы с его помощью ее перемещать. Наконец, ее не заключишь в какой-нибудь контейнер. Действительно, вспомним, что при массе, равной массе горы, размер ее соответствует размеру атомного ядра. Она будет свободно проходить через любые преграды, свободно прошивать толщу земного шара.

Как же можно все-таки заставить черную дыру двигаться в нужном направлении, увеличивать и уменьшать скорость этого движения по нашему желанию? Давайте пофантазируем об этом. Чем можно воздействовать на черную дыру?

Прежде всего, конечно, это поле тяготения. Черная дыра подвластна действию тяготения точно так же, как и любой вид физической материи. Она падает в этом поле с тем же ускорением свободного падения, что и любые другие тела, и так же искривляет траекторию своего движения. Ясно поэтому, что простейший способ заставить ее начать двигаться в нужном направлении — это использование поля тяготения.

Можно поступить, например, следующим способом (рис. 6). Подведем к черной дыре достаточно массивное тело, скажем, астероид с массой, больше ее массы. Сделать это можно с помощью установленных на нем реактивных двигателей. Черная дыра начнет падать в поле тяготения астероида в направлении к его центру масс. Подождём некоторое время, пока она приобретет достаточную скорость в направлении астероида, после чего его можно увести подальше в пространство, а черная дыра продолжит свой полет по инерции с приобретенной скоростью.

Конечно, при сравнительно скромной массе и реаль-

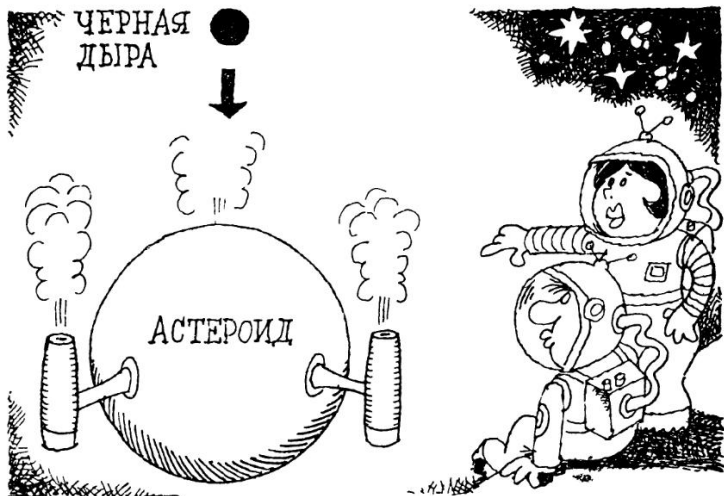


Рис. 6

ных размерах астероида сообщаемое его полем ускорение будет невелико. Невелика может быть и приобретенная дырой скорость. Так, астероид размером в сто раз меньше Земли может разогнать черную дыру до скорости около ста метров в секунду.

Можно, однако, усовершенствовать этот способ. Надо заставить двигатели ракет, установленных на астероиде, работать так, чтобы придать ему ускорение в сторону «убегания» от черной дыры и равное по величине ускорению, с которым черная дыра падает на астероид. В этом случае система астероид — черная дыра может хоть и медленно, но постоянно ускоряться.

Подобным же образом можно и тормозить черную дыру, подводя к ней астероид с противоположной стороны, а также изменять направление ее движения. Если она выведена на орбиту вокруг Земли, то, подводя к ней с той или иной стороны массивные тела, можно корректировать ее орбиту полем тяготения этих тел.

Похожий на предложенный выше способ транспортировки черных дыр является и такой. Подведем к дыре массивный астероид и так организуем его маневр, чтобы он, подлетев к ней, уменьшил свою скорость и тем самым заставил дыру выйти на круговую орбиту вокруг него (рисунок 7а). После этого астероид можно медлен-

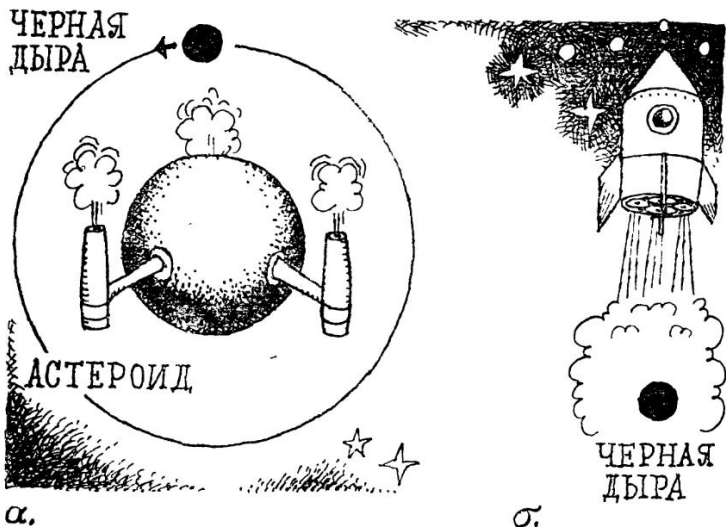


Рис 7

но разгонять с помощью установленных на нем реактивных двигателей. Если разгон достаточно плавный, то черная дыра будет следовать за астероидом, обращаясь вокруг него по орбите. Для осуществления этого процесса необходимо, чтобы ускорение астероида было заметно меньше, чем ускорение свободного падения на астероид черной дыры.

Рассмотренные нами способы требовали использования достаточно массивных тел. Можно ли обойтись без этого?

Оказывается, можно. Один из таких способов показан на рисунке 7б. Ракета с работающими двигателями удерживается от падения в черную дыру. Поток выброшенных газов с большой скоростью проходит мимо нее, и лишь очень малая их часть попадает в нее. В результате вся система «ракета плюс черная дыра» приобретает скорость в сторону носа ракеты и все больше ускоряется. Чем ближе ракета расположена к дыре, тем с большей мощностью должны работать двигатели ракеты, чтобы удержать ее от падения. Значит, тем быстрее будет разгоняться вся система.

На рисунке 8 представлен еще один способ придания скорости черной дыре, на сей раз без поля тяготения и

ЧЕРНАЯ  
ДЫРА

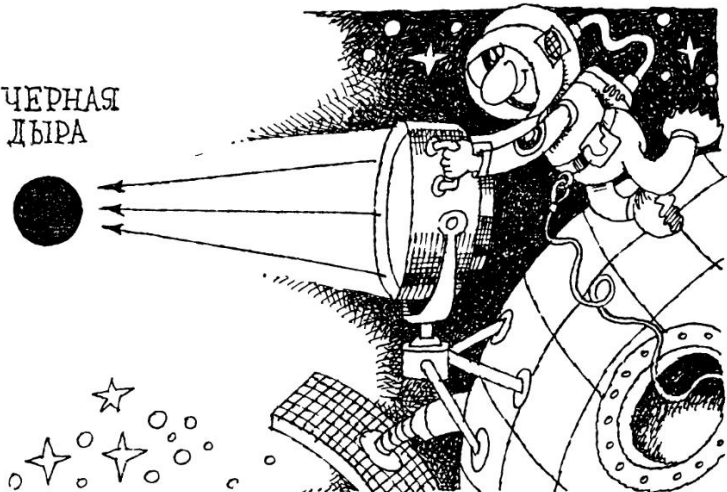


Рис. 8

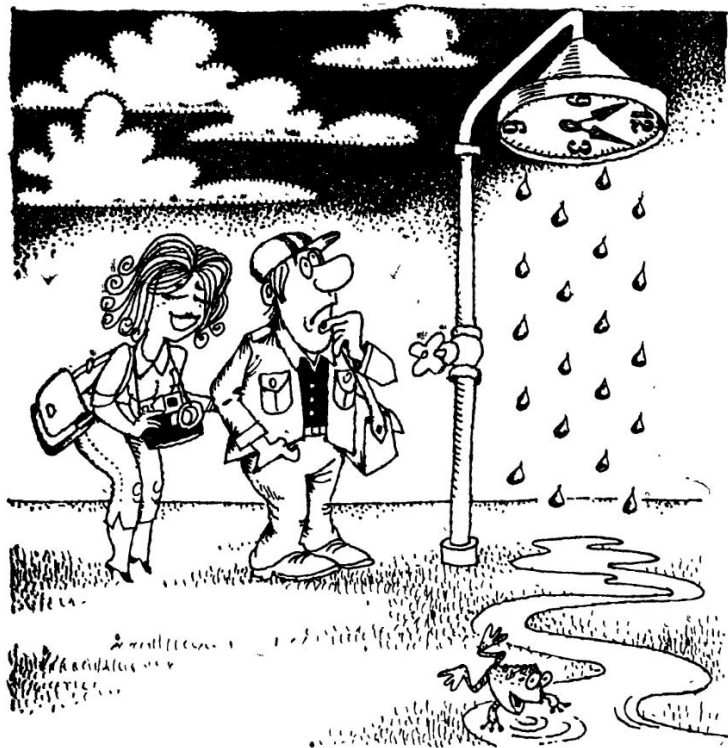
действия ракет. Можно дыру облучать направленным потоком излучения так, что оно будет поглощаться дырой и вместе с нею приобретать содержащийся в потоке импульс и придет в движение. Образно говоря, черная дыра здесь приходит в движение под действием давления излучения. Не правда ли, удивительная ситуация, когда давление излучения действует на пустоту, точнее, на сгусток тяготения, каким является черная дыра.

Давайте остановимся здесь в наших фантазиях (пока — фантазиях!). Основной целью этой главы было показать, что дыры в пространстве и времени не вечны. Излучение Хоукинга медленно их «испаряет».

Пока не совсем ясно, какое значение это имеет для теории времени. Однако понятно, что черные дыры — своего рода стоки реки времени — медленно затягиваются. Неясно, полностью ли исчезает в конце концов черная дыра в результате испарения. Так, советский физик академик М. Марков считает, что в конце должна оставаться элементарная черная дыра — частичка с массой, равной одной стотысячной доле грамма.

Эти и многие другие вопросы физики черных дыр — предмет интенсивного исследования теоретиков.





## К ИСТОКАМ РЕКИ ВРЕМЕНИ

Итак, нами установлено, что время может течь по-разному. У реки времени бывают стоки, устья. А есть ли истоки?

После того, как стало ясно, что свойства времени зависят от физических процессов, протекающих в материи, такой вопрос уже не кажется абсурдным. Философы задумывались над этой проблемой давно. Однако поразительные успехи ньютоновской механики и, как следствие, утвердившееся в науке ньютоновское представление о вечном и неизменном времени приучили их считать, что исток реки времени находился в бесконечном прошлом.

Время представлялось однородной рекой или неизменной дорогой, тянущейся от прошлого к будущему.

Если идти по этой дороге  
Любым путем из любого места,  
То в любой час дня, в любое время года  
Она будет одной и той же...

Т. Элиот

Но проблема начала времени во всей своей остроте вновь встала перед наукой XX века.

Это произошло после открытия факта расширения Вселенной. Об этом открытии подробно говорится в книге «Человек, открывший взрыв Вселенной», написанной А. Шаровым и мной в 1989 году. Здесь мы наметим только важнейшие вехи на пути этого открытия.

Все началось еще в конце XIX века. Богатый американец П. Ловелл построил в Аризонской пустыне частную обсерваторию. Решился он на это потому, что был увлечен наблюдениями итальянского астронома Дж. Скиапарелли за таинственными линиями на Марсе, которые тот считал каналами — искусственными сооружениями. Интересовала П. Ловелла также проблема происхождения Солнечной системы. Он был уверен, что некоторые туманности, наблюдавшиеся на небе, являются планетными системами в процессе зарождения. К ним он относил и туманность в созвездии Андромеды. Теперь-то мы знаем, что туманность Андромеды, которая имеет вид спирали, закручивающейся к центру, является одной из ближайших к нам звездных систем, подобных нашему Млечному Пути. Но во времена П. Ловелла ничего не было известно об огромных расстояниях, отделяющих туманности от нас.

П. Ловелл предложил молодому астроному В. Слайферу, незадолго до того пришедшему работать к нему в обсерваторию, заняться спектральными исследованиями туманности Андромеды. Это была трудная задача. Яркость туманности мала — она едва видна невооруженным глазом. Чувствительность фотопластинок, на которых запечатлевался спектр, была тогда невелика, да и телескоп был с современной точки зрения более чем скромным. Это был рефрактор (линзовый телескоп) с диаметром объектива 60 сантиметров. Вспомним, что наш крупнейший в мире телескоп на Северном Кавказе имеет диаметр 6 метров и собирает света в сто раз больше.

В ночь на 17 сентября 1912 года В. Слайфер после семичасовой экспозиции получил спектр туманности Андромеды, по которому впервые измерил ее скорость

движения, используя эффект Доплера. Астроном не поверил сам себе. Скорость оказалась огромной — туманность приближалась к нам на 300 километров каждую секунду. Он получил еще несколько фотографий спектров, подтвердивших результат, и только после этого опубликовал статью. Скорость туманности Андромеды раз в десять превышала обычную скорость звезд. В. Слайфер понял, что натолкнулся на нечто удивительное. Он писал в своей статье: «Расширение работы на другие объекты может дать результат фундаментальной важности».

И В. Слайфер приступил к выполнению намеченной программы.

Это была работа исключительной сложности. Другие туманности столь слабы, что для получения их спектров требовались экспозиции в десятки часов. В. Слайфер повторял фотографирование из ночи в ночь. Через пару лет он измерил скорости 15 туманностей и продолжал накапливать наблюдательный материал. Скорости получались огромными. Почти все туманности, за исключением туманности Андромеды и еще нескольких, видимых примерно в том же секторе неба, удалялись от нас. Причем наибольшая скорость удаления составляла 1100 километров в секунду.

В 1917 году В. Слайфер на заседании Американского философского общества подвел итог своего кропотливого труда. Он заключил, что, во-первых, туманности не являются зародышами планетных систем. Во-вторых, измерив к этому времени скорости 25 туманностей, пришел к главному выводу, что «Средняя скорость с учетом знака положительна; она указывает, что туманности удаляются со скоростью около 500 км/с. Это может означать, что спиральные туманности разлетаются, но их распределение на небе не согласуется с этим, поскольку они имеют склонность к образованию скоплений».

Так осторожно и с оговорками было впервые высказано подозрение о расширении мира туманностей. Тогда еще не было твердой уверенности, что туманности — это звездные системы — галактики, подобные нашей Галактике — Млечному Пути.

Прошло еще несколько лет, и другой американский астрофизик Э. Хаббл доказал, что туманности состоят из звезд, и измерил расстояния до них. Оказалось, что

эти расстояния огромны, а туманности — это огромные звездные галактики.

Следующее величайшее открытие, которое сделал Э. Хаббл, — это закон, по которому разлетаются галактики. Сопоставляя скорости их разбегания с их расстоянием от нас, Э. Хаббл нашел в 1929 году, что они — эти скорости удаления — прямо пропорциональны расстоянию. Это и был великий закон, носящий его имя. Конечно, галактики удаляются не только от нас, от нашей Галактики, но и друг от друга — происходит всеобщее расширение Вселенной.

Открытию Хаббла предшествовали теоретические работы, описывающие строение Вселенной на основе новых физических теорий.

К концу 20-х годов космологические модели, основанные на общей теории относительности, были полностью разработаны. Однако они оставались либо вовсе неизвестны астрономам, либо не вызывали у них сколь-нибудь заметного интереса. Вероятно, было несколько причин такого странного положения, когда теоретическое предсказание важнейшего явления природы долго не вызывало интереса тех, кто мог проверить предсказание.

Первая причина, по-видимому, состояла в том, что новые космологические модели строились на основе общей теории относительности, которая очень сложна как математически, так и, самое главное, новыми понятиями о пространстве, времени и сути гравитационного взаимодействия. В те времена не только астрономы-наблюдатели, но даже физики-теоретики не сразу усваивали новые идеи, не сразу понимали их и не стремились применять в конкретных исследованиях.

Итак, первая причина была в сложности теории и разобщенности теоретиков и наблюдателей. Вторая — психологическая. Она, вероятно, состояла в необычности выводов теории, утверждавшей, например, возможность замкнутости пространства или существование начала эволюции нашего мира в прошлом. Астрономам-практикам, с помощью новых телескопов проникавшим все дальше в глубины пространства, психологически было трудно поверить в реальность таких утверждений, в корне меняющих их общее представление о Вселенной.

В 1922—1924 годах советским математиком А. Фридманом были выведены и полностью решены космологические уравнения, следовавшие из теории Эйн-

штейна и описывавшие общее строение и эволюцию Вселенной в предположении однородности распределения материи в больших масштабах и равноценности всех направлений в пространстве.

Основной вывод из этих решений состоял в том, что в общем случае материя в больших масштабах во Вселенной не может находиться (в среднем) в покое — она должна либо расширяться, либо сжиматься. Это заключение было получено А. Фридманом строго математическим путем. Суть его довольно проста, хотя интерпретация основных выводов А. Фридмана, приводимая ниже, была понята далеко не сразу.

Единственными силами, которые действуют в однородной Вселенной, являются силы тяготения. Поэтому если представить, что в какой-то момент огромные массы во Вселенной в среднем неподвижны друг относительно друга, то в следующий момент под действием тяготения они придут в движение, вещество начнет сжиматься. Галактики с этой точки зрения тоже можно рассматривать как «частички» такого вещества.

Конечно, Вселенная не обязательно должна сжиматься. Если вначале массам задать скорости удаления друг от друга, то она будет расширяться, а тяготение тормозить разлет. Будет ли разлет или сжатие — зависит от начальных условий, от процессов, которые определили начальные скорости масс.

Правда, А. Эйнштейн ввел в свои уравнения так называемый  $\Lambda$ -член, описывающий еще один вид сил — гипотетические силы гравитационного отталкивания вакуума. Эти силы должны быть слабы и проявляться только на больших космологических расстояниях. Он ввел эти силы специально для того, чтобы построить статическую модель Вселенной без расширения и сжатия. В этом решении силы тяготения вещества уравновешены силами отталкивания.

В уравнениях Фридмана  $\Lambda$ -член также учтен. Силы отталкивания, им описываемые, ослабляют силы тяготения вещества. Но, конечно, чтобы прийти к точному равновесию сил и к модели Эйнштейна, нужен специальный подбор начальных условий. Значит, модель Эйнштейна, предложенная в 1917 году, есть частный случай модели Фридмана.

Другим частным случаем является модель, предложенная голландским физиком В. де Ситтером, в которой

нет совсем тяготеющего вещества и господствуют силы гравитационного отталкивания вакуума.

Уравнения Фридмана описывают не только динамику движения масс во Вселенной, но и геометрические свойства пространства, как говорят, степень его искривленности, которая меняется при расширении Вселенной.

А. Эйнштейн сначала возражал против выводов советского математика, но после разъяснений, переданных ему физиком Ю. Крутковым, полностью с ними согласился.

Однако дальнейший ход событий показал, что, несмотря на публикацию статьи А. Фридмана в широко читаемом журнале и признание самого А. Эйнштейна, его работа выпала из поля зрения не только астрономов, но и физиков-теоретиков. Трудно сказать, почему так произошло.

В 1923 году немецкий математик Г. Вейль отметил, что если в пустую Вселенную де Ситтера, где есть только силы гравитационного отталкивания, поместить галактики со сравнительно малой плотностью так, что их тяготением можно пренебречь по сравнению с силами отталкивания, описываемыми  $\Lambda$ -членом, то они приобретут скорости, пропорциональные расстоянию между ними (для сравнительно небольших расстояний).

Другой теоретик Х. Робертсон в 1928 году пришел к такому же заключению. Более того, сопоставляя расстояния, вычисленные по данным Э. Хаббла 1926 года, со скоростями, полученными В. Слайфером, он нашел приблизительное подтверждение закона пропорциональности скорости и расстояния. Знал ли Э. Хаббл, когда проводил свои исследования, результаты Х. Робертсона, неизвестно.

В 1927 году ученик знаменитого английского физика А. Эддингтона Дж. Леметр, в сущности, повторил работу А. Фридмана. Он также пришел к заключению о нестационарности Вселенной. Для небольших расстояний Дж. Леметр также получил линейную связь между скоростью и расстоянием, которая фактически отражает однородность Вселенной. Найденный им коэффициент пропорциональности оказывается близким к коэффициенту, вскоре полученному Э. Хабблом.

Однако в начале своей работы и сам Э. Хаббл, и другие непосредственные участники первых обсуждений его открытия не знали или не помнили всех теоретических исследований. Вероятно, только модель де Ситтера

с предсказываемым ею разбеганием галактик в почти пустой Вселенной, а также статическая модель Эйнштейна были единственными схемами, которые принимались тогда во внимание.

Когда мы вместе с А. Шаровым описывали все эти перипетии открытия расширения Вселенной в нашей книге, когда, собирая материалы, изучали статьи, документы, расспрашивали наших зарубежных коллег, мы все пытались понять, почему работы А. Фридмана все же не были оценены по достоинству участниками событий.

Наверное, в какой-то степени сказалось то, что в этих работах А. Фридмана ничего не говорилось о наблюдательной проверке теории, в то время как в других перечисленных теоретических работах этот вопрос разбирался и был близок и понятен астрономам-наблюдателям. Поэтому они больше обращали внимание на работы, где говорилось о наблюдениях.

Итак, в 20-е годы нашего столетия теоретики и наблюдатели установили, что мы живем в расширяющейся Вселенной, взорвавшейся в некоторый момент в прошлом.

Это открытие перевернуло представление о Вселенной как о чем-то грандиозном и в среднем неизменном, содержащем в себе вечный круговорот материи.

Конечно, такое открытие должно было иметь решающее значение для понимания природы времени Вселенной.

После открытия Э. Хаббла прошло 60 лет. Но и сегодня интенсивно продолжаются исследования открытого им явления. «Воля, которая устремляется к познанию, никогда не удовлетворяется окончанным делом», — сказал знаменитый итальянец Дж. Бруно. Вооруженность наблюдателей телескопами и приборами в наше время неизмеримо возросла. Астрономы наблюдают сейчас галактики, находящиеся от нас на расстоянии в десять миллиардов световых лет и удаляющиеся от нас со скоростью, почти равной скорости света. Так, у рекордно далекого объекта — квазара (яркого ядра галактики) скорость удаления настолько большая, что все длины световых волн, им испускаемых, увеличены из-за эффекта Доплера в четыре с половиной раза.

В наше время теория расширяющейся Вселенной всесторонне обоснована наблюдениями. Она ведет к важнейшим принципиальным выводам. Один из этих

выводов связан с искривлением трехмерного пространства.

Теория Фридмана утверждает, что если во Вселенной достаточно много материи, так что средняя плотность всех ее видов больше некоторого критического значения, то искривленность пространства, вызванная тяготением этой материи, подобна искривленности сферы. Разница заключается лишь в том, что у сферы два измерения, у пространства — три. Но сфера, изгибаясь, замыкается сама по себе. Площадь поверхности сферы конечна. Аналогично этому и искривленное трехмерное пространство замыкается само на себя. Мир оказывается замкнутым.

Конечно, представить себе такое замкнутое пространство непросто. Как сказал знаменитый французский физик и философ Б. Паскаль: «Воображение скорее устанет постигать, чем природа поставлять». Но наука уже давно приучила нас к существованию явлений, которые непредставимы наглядно. Если же средняя плотность вещества во Вселенной меньше критической или равна ей, то пространство бесконечно. А какова наша Вселенная в действительности?

Мы не знаем окончательного ответа на этот вопрос. Критическое значение средней плотности вычисляется по скорости расширения Вселенной. Оно равно примерно пяти солнечным массам в кубическом ящике с длиной ребра в тысячу световых лет. Измерить истинное значение плотности, чтобы сравнить его с критическим значением, очень трудно. Все дело в том, что вокруг галактик и в пространстве между галактиками, по-видимому, много слабосветящейся и даже вовсе невидимой материи. Она получила название «скрытой массы». Ее обнаружить и учесть особенно трудно. Суммарная масса светящихся звезд, планет, газа дает среднюю плотность раз в тридцать меньше критической. Однако «скрытая масса» примерно в тридцать раз больше видимой. Поэтому больше ли плотность вещества во Вселенной, чем критическое значение, или нет, а следовательно, замкнут ли наш мир или бесконечен, сегодня неизвестно.

Ясно лишь следующее. Если Вселенная и замкнута, то ее размер огромен. Он намного больше расстояния до самых далеких наблюдаемых галактик, то есть больше, чем десять миллиардов световых лет.



Другой вывод из теории расширяющейся Вселенной особенно важен для проблемы истоков реки времени.

Раз Вселенная расширяется, значит, в прошлом галактики были ближе друг к другу.

А еще раньше вообще не могло быть ни изолированных галактик, ни каких-либо отдельных небесных тел. В ту далекую эпоху в прошлом было плотное расширяющееся вещество, лишь впоследствии распавшееся на фрагменты и образовавшее системы небесных тел.

Наконец, еще раньше, в очень далеком прошлом, был момент, когда согласно теории плотность вещества была равна формально бесконечности. Это момент начала расширения. Состояние Вселенной в этот момент получило название сингулярности.

Как давно началось расширение Вселенной? Расчет, основанный на наблюдаемой скорости разбегания галактик, показывает, что это случилось около 15 миллиардов лет назад. Что тогда произошло и что было до этого? Каковы были свойства пространства и времени вблизи сингулярности? Это загадки загадок нашей Вселенной.

Наука XX века сделала очень много для разрешения проблемы сингулярности. Теория Фридмана описывает, как под действием сил тяготения происходит это расширение. Галактики удаляются друг от друга, двигаясь по инерции, а силы взаимного тяготения постепенно тормозят их движения и замедляют расширение Вселенной. Сравнение выводов теории с результатами наблюдений показывает, что расширение началось около 15 миллиардов лет назад. Но теория не отвечает на вопрос, почему началось расширение. Откуда вещество, из которого потом образовались галактики, приобрело начальные скорости расширения?

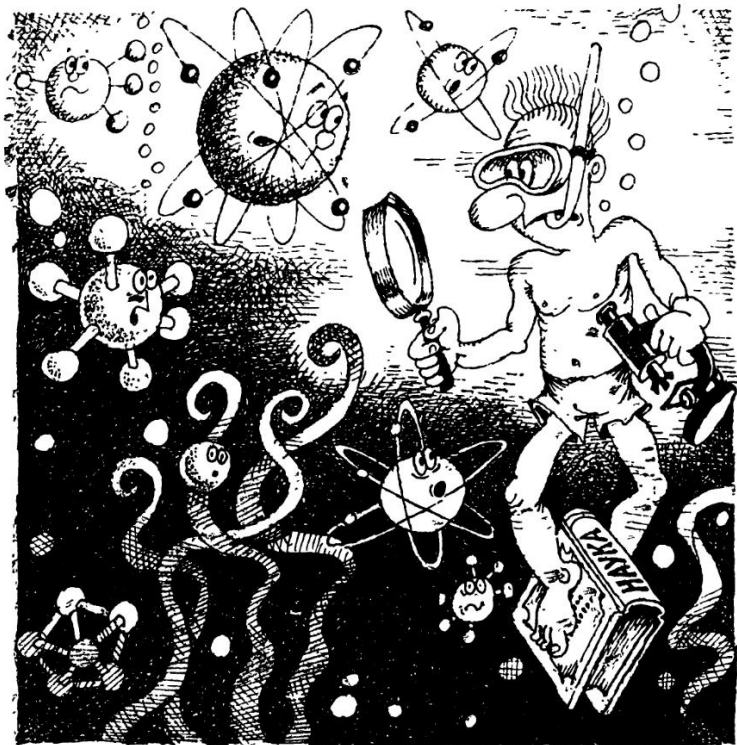
В 1965 году было сделано открытие, которое, казалось бы, должно ответить на все эти вопросы. Было обнаружено слабое электромагнитное излучение с температурой около трех градусов шкалы Кельвина, которое равномерно заполняет всю Вселенную. Оно присутствовало во Вселенной с самого начала расширения и было названо И. Шкловским, как мы уже знаем, реликтовым. Остыло оно в ходе расширения. А раньше, очевидно, его температура, а значит, и температура всего вещества, достигала очень высоких значений. Вселенная была горячей, давление вещества, которое тогда распределялось в пространстве почти равномерно, было огромным.

Большое давление на первый взгляд кажется крайне важным для объяснения взрыва Вселенной. Вспомним картину взрыва какого-либо заряда в малом объеме, например, химического (порох) или ядерного. Вещество заряда сильно нагревается, испаряется. И давление нагретых газов стремительно расширяет само вещество. Кажется, так же начала расширяться и Вселенная. Можно посчитать, что и здесь высокая температура и колоссальное давление стали причиной начала расширения Вселенной. Однако такое заключение оказалось бы неправильным. Между двумя этими явлениями имеется существенное различие.

При взрыве обычного заряда возникает перепад давлений — огромное давление внутри горячих газов и сравнительно малое атмосферное снаружи (если взрыв происходит в воздухе). Этот перепад и создает силу, расшвыривающую вещество, то есть силу создает перепад давлений, а не само высокое давление. Если бы снаружи давление было такое же, как и внутри, то, очевидно, никакого разлета вещества не было бы. Кроме того, и плотность расширяющегося газа при взрыве неоднородна: максимальна она в центре и уменьшается к краям. В ходе разлета перепад давлений, связанный с перепадом плотности и температуры, создает силу, подталкивающую разлетающийся газ.

Ничего подобного не было в начале расширения Вселенной. Ее вещество до образования небесных тел однородно, никаких перепадов плотности и давления не имелось, не возникало, значит, и силы, которая могла бы служить причиной начала расширения. Следовательно, большое давление горячего газа не являлось причиной начала расширения Вселенной. А что же послужило «первотолчком», давшим начальные скорости веществу?

Чтобы понять это, нам предстоит мысленно отправиться к самому «началу». А для этого познакомимся со свойствами материи при очень больших плотностях и температурах.



## ПУТЕШЕСТВИЕ В НЕОБЫЧНЫЕ ГЛУБИНЫ

В нашем путешествии к истокам реки времени мы столкнемся с фактом, что чем ближе к сингулярности, тем выше температура Вселенной, а следовательно, больше энергия частиц материи. Какие процессы мы должны ожидать здесь, в мире гигантских энергий? Для того чтобы разобраться в этом, оставим на время космологию и отправимся в область бесконечно малого — в мир современной физики элементарных частиц.

Это наше путешествие будет очень кратким, и мы познакомимся в основном лишь с фактами, особенно важными для понимания процессов в ранней Вселенной.

В физике элементарных частиц за последние два десятилетия произошел настоящий переворот. Стало ясно,

что элементарные частицы, из которых состоит вещество, например такие, как протон и нейтрон, это вовсе не «кирпичики мироздания», а сложные системы, состоящие из еще более элементарных объектов — кварков. Было установлено существование целых классов новых частиц с совершенно необычными свойствами. Но, пожалуй, самое важное — это установление замечательного единства различных сил природы, которые еще недавно считались совсем несхожими по своей сути. Такое единство проявляется при очень больших энергиях и поэтому особенно важно для понимания начала расширения Вселенной.

Физика не впервые сталкивается с ситуацией, когда силы, совсем непохожие друг на друга, оказывались различными проявлениями более общей сущности. Такое случилось с электрическими и магнитными взаимодействиями. Люди были знакомы с проявлениями этих сил с незапамятных времен и думали, что магниты никак не воздействуют на электрические заряды и наоборот. Однако опытами А. Ампера, М. Фарадея и других было установлено, что движущиеся заряды создают магнитное поле, а движение магнита ведет к появлению электрических сил. Электромагнитная теория Дж. Максвелла через полвека объединила эти на первый взгляд разные взаимодействия в единую сущность — в электромагнитное поле. Таким образом, оказалось, что электромагнетизм един, и только в специальных условиях, когда нет движения, нет изменения полей во времени, он распадается на электричество и магнетизм.

А. Эйнштейн вскоре после создания общей теории относительности начал титаническую работу, пытаясь объединить электромагнетизм и гравитацию — те два вида взаимодействий, которые тогда были известны. Эти попытки он продолжал всю жизнь. Однако в то время наука не была еще готова не только для успешного выполнения этой задачи, но даже для осмысления грандиозности и значимости этих попыток. Очень многие физики относились к попыткам А. Эйнштейна весьма скептически. Так, знаменитый физик В. Паули образно говорил по этому поводу: «Что разделено богом, человеку не соединить». Когда же позднее начались попытки объединения других сил природы, то они часто встречали такой же скептицизм.

Весной 1988 года в Триесте я спросил знаменитого пакистанского физика, директора Международного ис-

следовательского центра А. Салама о первых попытках создания теорий, объединяющих различные силы. Он ответил, что лет тридцать назад в это почти никто не верил, и посоветовал прочитать письмо, которое ему написал В. Паули в 1957 году и которое А. Салам приводит в одной из своих статей. В этом письме говорится: «Не торопясь читаю Вашу статью. (Под ярким Солнцем на берегу Цюрихского озера.) Меня очень удивило ее название — «Универсальное взаимодействие Ферми»; это связано с тем, что с некоторых пор я придерживаюсь правила: если теоретик говорит «универсальный», то это означает чистую бессмыслицу».

С времен первых попыток А. Эйнштейна прошло много десятилетий, и ситуация в физике резко изменилась. В настоящее время известны четыре вида физических взаимодействий: гравитационный, слабые, электромагнитные и сильные.

До сих пор мы говорили главным образом о гравитационном взаимодействии, управляющем движением небесных тел, но в мире элементарных частиц им можно пренебречь. Несколько предварительных слов о трех других взаимодействиях.

Примером процесса, идущего за счет слабого взаимодействия, является распад свободного нейтрона  $n$  на протон  $p$ , электрон  $e$  и антинейтрино  $\bar{\nu}_e$ . Мы видим существенное отличие проявления этого взаимодействия от рассмотренных нами проявлений гравитационного взаимодействия. Гравитация в том понимании медленных движений, о котором мы говорили, меняет только состояние движения частиц, слабое же взаимодействие меняет внутреннюю природу частиц: вместо нейтрона появляются протон, электрон и антинейтрино.

Сильные взаимодействия обуславливают различные ядерные реакции (такие, например, как термоядерные реакции), а также возникновение сил, связывающих нейтроны и протоны в ядра.

С электрическими и магнитными силами мы знакомы по школьным опытам, а поэтому они не нуждаются в комментариях.

Частицы, из которых состоит материя, делятся на группы в зависимости от свойств их взаимодействия.

Частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях, называют *лептонами*. Таких частиц шесть. Это электрон  $e$ , мюон  $\mu^-$ , тау-лептон  $\tau^-$  и три сорта нейтри-

но: электронное  $\nu_e$ , мюонное  $\nu_\mu$  и тау-нейтрино  $\nu_\tau$ . (Тау-нейтрино пока не открыто. Однако, по-видимому, никто не сомневается в его существовании. Мы в дальнейшем не будем делать оговорок об отдельной неполноте наших знаний.)

Лептоны группируются в пары: электрон с электронным нейтрино, мюон — с мюонным, тау-лептон — с тау-нейтрино. Это объединение обусловлено тем, что каждый сорт нейтрино участвует в реакциях вместе со своим партнером по паре. Первые три частицы имеют электрический заряд, равный заряду электрона. Все сорта нейтрино электронейтральны.

Остальные фундаментальные частицы носят название *кварков*; они участвуют в сильных взаимодействиях (а также и в слабых, и в электромагнитных). Из кварков слагаются частицы, участвующие в сильных взаимодействиях, и называются *адронами*. Примерами адронов являются протон, нейтрон, пи-мезон. Всего кварков шесть, они обозначаются латинскими буквами и также группируются в три семейства, соответствующие семействам лептонов:  $(u, d)$ ,  $(c, s)$ ,  $(t, b)$ .

Кварки имеют довольно экзотические свойства. Если выражать их электрический заряд в единицах заряда электрона, то оказывается, что заряды кварков дробные. Первые частицы в каждой паре имеют заряд  $+2/3$ . Остальные —  $-1/3$ .

Каждой частице соответствует античастица. Для электрически заряженных частиц заряд античастиц противоположен. Например, электрону  $e^-$  с отрицательным зарядом соответствует античастица позитрон  $e^+$  с положительным зарядом, кварку  $u$  с зарядом  $+2/3$  соответствует антикварк  $\bar{u}$  с зарядом  $-2/3$  и т. д. (Античастицу обычно обозначают черточкой над буквой.)

Все перечисленные выше фундаментальные частицы, из которых состоит физическая материя, обладают еще одним важным свойством. Им присуще собственное вращение — внутренний момент импульса, или, как его называют в квантовой механике, *спин*. При этом спин этих частиц, измеренный в единицах планковской постоянной  $\hbar$ , равен  $1/2$ .

Еще несколько слов о кварках. Как уже было сказано, кварки являются составляющими частями сильно-взаимодействующих частиц — адронов. Адроны, в свою очередь, подразделяются на *барионы*, у которых полу-

целые спины и мезоны с целыми спинами. Каждый барион состоит из трех кварков, а мезон — из кварка и антикварка. При таких объединениях заряд составной частицы обязательно оказывается целым. Например, состав протона —  $uud$ , нейтрона —  $ddu$ , состав  $\pi^+$  — мезона —  $u\bar{d}$ .

Замечательной особенностью кварков является то, что в сегодняшней Вселенной они существуют только в связанных состояниях — только в составе адронов. Одиночные, свободные кварки физиками не обнаружены, несмотря на многочисленные попытки это сделать. Почему кварк не может быть вырван из адрона или создан каким-либо иным способом?

Это один из основных вопросов физики элементарных частиц, и мы к нему еще вернемся.

Перечисленные нами элементарные частицы физической материи имеют полуцелые спины, и их называют фермионами.

Обратимся к проблеме взаимодействия между частицами. Все процессы, которые происходят во Вселенной, есть результат этих взаимодействий. Но как же происходят взаимодействия, в чем их суть?

Частицы взаимодействуют путем обмена другими частицами — переносчиками взаимодействия. Каждый из перечисленных выше четырех видов взаимодействия имеет своих переносчиков.

Начнем с хорошо известного нам электромагнитного взаимодействия. Переносчиком его является фотон. На рис. 9 изображена схема электромагнитного взаимодействия между протоном и электроном. Протон испускает фотон, который поглощается электроном.

Читателю, конечно, известно, что наглядные представления для мира элементарных частиц невозможны, так как там действуют совершенно непривычные для нас законы квантовой механики. Невозможны, конечно, и наглядные картинки. Тем не менее подобные схемы, как выразился в популярной статье американский физик М. Гелл-Манн, создают «иллюзию понимания» и до некоторой степени помогают, если не понять полностью, то по крайней мере создать образ того, что происходит. Надо сказать, что для специалистов подобные схемы служат и рабочим инструментом для расчетов взаимодействий. Они получили название диаграмм Фейнмана, по имени их изобретателя — известного американского физика.

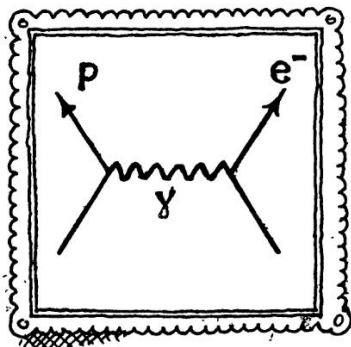


Рис. 9

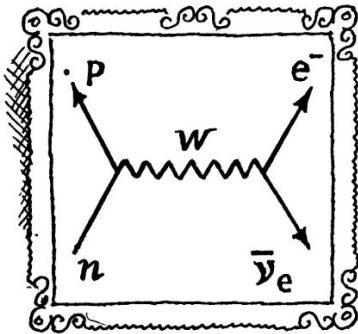


Рис. 10

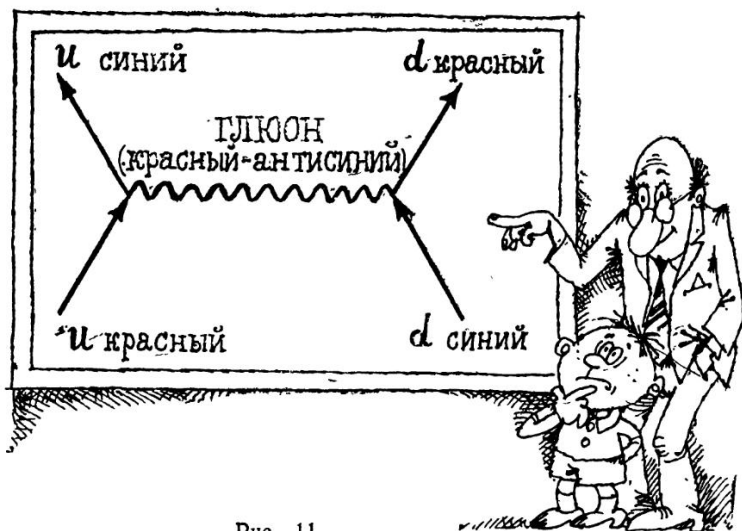


Рис. 11

В случае гравитационного взаимодействия переносчиками являются кванты поля тяготения — *гравитоны*. Мы пока не будем говорить об этом виде взаимодействия. И фотоны, и гравитоны не имеют массы (как говорят, массы покоя) и всегда движутся со скоростью света.

Слабые взаимодействия также имеют своих переносчиков. Это частицы, которые получили название *векторных бозонов* (мы не будем объяснять, почему их так называют). Их три (а не по одной частице, как бы



ло в случае электромагнитного и гравитационного взаимодействий):  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ . Частицы  $W^+$  и  $W^-$  несут положительный и отрицательный заряды соответственно, а  $Z^0$  — частица электронейтральная. Пример слабого взаимодействия с участием  $W^-$ -частицы показан на рис. 10. Эта схема изображает распад нейтрона.

Существенным отличием переносчиков слабого взаимодействия от фотона и гравитона является то, что они очень массивны. Примерно в сто раз тяжелее протона. С массивностью переносчиков связан тот факт, что слабое взаимодействие возможно только на очень коротких расстояниях. Это расстояние в тысячу раз меньше размера атомного ядра. Напомним, что ядро, в свою очередь, в сто тысяч раз меньше размера атома.

Почему слабое взаимодействие действует на столь коротких расстояниях? Дело заключается в следующем. Чтобы испустить тяжелую частицу-переносчика, взаимодействующая частица должна затратить большую энергию. Но эту энергию неоткуда взять! Однако в мире элементарных частиц существует так называемое соотношение неопределенностей. Оно гласит, что при измерении продолжительностью не более чем  $\Delta t$ , нельзя измерить энергию с точностью лучше, чем частное от деления постоянной Планка  $\hbar$  на  $\Delta t$ .

Это означает, что на короткий промежуток времени  $\Delta t$  у частицы или системы может появляться энергия как бы «ниоткуда», но эта «занятая» энергия должна быть такова, чтобы за время  $\Delta t$  ее нельзя было измерить и чтобы, таким образом, не вступить в противоречие с законом сохранения энергии.

Мы видим здесь, что в мире элементарных частиц время оказывается связано с энергией. Если энергия определена точно, то промежуток времени, соответствующий этому состоянию, велик и совершенно неопределен. И наоборот. Мы вновь встречаем явную связь времени и энергии, о которой говорилось в разделе «Энергия из черных дыр».

Напомним здесь еще об одном проявлении этой связи, которая давно была установлена физиками. Речь идет о законе сохранения энергии.

То, что энергия не может браться «ниоткуда», было установлено после многочисленных, продолжающихся столетия, неудачных попыток построить вечный двигатель. Закон сохранения энергии был сформулирован в

1842 году немецким врачом Ю. Майером. Любопытно, что он пришел к этому выводу после плавания корабельным врачом на остров Яву. Наблюдения за венозной кровью матросов натолкнуло его на мысль, что механическая работа и теплота могут взаимопревращаться. В 1842 году он опубликовал работу «Замечания относительно сил неживой природы», в которой и сформулировал свой закон сохранения и превращения энергии. Через несколько лет этот закон был переоткрыт Дж. Джоулем и Г. Гельмгольцем. Работы Майера долго оставались непризнанными. Он пытался защитить свой приоритет. Это привело его к тяжелому нервному расстройству. В 1862 году Р. Клаузиус и Дж. Тиндаль обратили внимание на эти работы, и его приоритет был признан.

Закон сохранения энергии гласит, что энергия системы, которая изолирована и ни с чем не взаимодействует, не может измениться. Она сохраняется с течением времени.

Глубокая причина этого фундаментального свойства природы была вскрыта в 1918 году немецким математиком Эмми Нетер. Она показала, что энергия сохраняется потому, что время однородно. Все моменты времени равноправны согласно физике Ньютона. Вот по этой причине, как строго математически показала Э. Нетер, энергия во все моменты времени одинакова. Это был совсем новый подход к законам физики, основанный на свойствах, как говорят, симметрии времени. Оказалось также, что другие физические величины — импульс тела и момент импульса — сохраняются со временем также благодаря свойствам симметрии, на этот раз — симметрии пространства.

Так впервые были открыты глубинные связи физических свойств симметрии пространства и времени. Идеи симметрии, как мы увидим, являются руководящими в современной физике.

Вернемся теперь к нашим взаимодействующим частицам. Чем больше масса переносчика взаимодействия, тем больше его энергия. Из-за соотношения неопределенностей следует, что чем больше энергия, тем должен быть меньше промежуток времени, прошедший между испусканием переносчика (при котором «занимается» энергия) и его поглощением (когда отдается «долг»). Так, в случае векторных бозонов в сто раз более тяжелых, чем протон, промежуток  $\Delta t$  оказыва-

ется одной сто миллионной, миллиардной миллиардной доли секунды! За это время частица-переносчик, двигаясь даже со скоростью света, успеет пройти расстояние не больше, чем тысячная доля поперечника атомного ядра. Это и определяет радиус действия слабых ядерных сил.

Обратимся теперь к сильным взаимодействиям. Их переносчиками являются *глюоны*. Подобно фотону они не имеют массы покоя. В случае электромагнитного взаимодействия испускание и поглощение переносчиков связаны с наличием у частицы электрического заряда. В случае сильных взаимодействий испускание и поглощение глюонов также связаны с наличием у кварков особых зарядов. Однако эти заряды бывают трех различных видов и получили названия: *красный*, *желтый* и *синий*. Само сильное взаимодействие иногда называют цветной силой. Любой кварк может иметь один из трех «цветов». Разумеется, никакого отношения к обычному цвету эти условные названия не имеют.

Другим отличием сильных взаимодействий от электромагнетизма является то, что глюоны сами переносят цветовые заряды и являются, таким образом, цветозаряженными. Напомним, что фотон не несет электрического заряда. Пример сильного взаимодействия между кварками показан на рис. 11.

Все рассмотренные нами переносчики сил обладают общим свойством: они имеют целочисленный спин (напомним, что спины фундаментальных частиц полуцелые). У фотонов,  $W^{+}$ ,  $W^{-}$ ,  $Z^0$ -бозонов и глюонов спин равен 1, у гравитонов — 2 (в единицах  $\hbar$ ). Частицы с целыми спинами называют бозонами.

На этом, казалось, можно было бы остановиться в нашем путешествии в микромир, в нашем знакомстве с мельчайшими, известными сегодня частицами материи. Но в действительности те достаточно надежно установленные факты, о которых мы рассказали, это только вступление к знакомству с поистине удивительным миром бесконечно малого.

Свойства этого мира тесно переплетены со свойствами бесконечно большой Вселенной. Приведенные краткие сведения могут рассматриваться лишь как своеобразная «верхушка айсберга», видимая нами сегодня при рассмотрении процессов, протекающих со сравнительно малыми энергиями. Подлинная суть явлений в микромире гораздо обширнее, она захватывающе ин-

тересна и важна для космологии. С некоторыми аспектами этой «подводной» части айсберга мы сейчас и познакомимся. Следует особо предупредить читателей, что специалистам далеко еще не все ясно в структуре «подводной части», и чем глубже мы будем проникать в суть явлений, тем более гипотетичными будут некоторые сведения. Тем не менее эти сведения с переднего края науки настолько важны, что мы считаем необходимым познакомить с ними читателя, имея в виду то, что основные контуры явлений очерчены здесь наукой, по-видимому, правильно.



## ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

Когда мы говорили о вакууме — пустоте — в разделе «Энергия из черных дыр», то подчеркивали, что в нем непрерывно происходит рождение и уничтожение виртуальных частиц. Пустота оказалась совсем непростой. Вакуум — это сложнейшее состояние «кипящих» виртуальных частиц всевозможных сортов.

Читателя, наверное, теперь не слишком удивит тот факт, что свойства этого состояния — вакуума — зависят от того, как его приготовить. Следовательно, бывает разный вакуум — разная пустота!

Мы в дальнейшем приведем примеры возможных вакуумов. А сейчас поставим вопрос: не может ли результатом активности вакуума (результатом «кипения») явиться появление некоторой плотности энергии

как следствие взаимодействия виртуальных частиц?

Оказывается, плотность энергии может появиться. Этот факт подчеркивался еще в 60-е годы Я. Зельдовичем. Каждой энергии соответствует определенная масса. Поэтому вместе с плотностью энергии вакуума должна появиться и плотность массы. Но тогда вы, читатель, наверное, спросите: не означает ли это появление в наших представлениях некоторой универсальной среды, некоторого нового «эфира»? Если это так, то эта среда должна восстановить понятие абсолютного покоя и движения. Ведь движение относительно этой среды и было бы движением относительно пустоты, то есть относительно абсолютного пространства.

Казалось бы, двигаясь относительно такого нового «эфира», мы должны почувствовать набегающий на нас поток — «эфирный ветер». Его-то и хотел обнаружить Майкельсон еще в прошлом веке, пытаясь измерить движение Земли сквозь эфир в опытах, которые мы описывали и которые, как мы помним, дали отрицательный результат.

Если бы новый «эфир» был бы похож на обычную среду, то встречный ветер при движении в нем действительно можно было бы обнаружить. Но все дело в том, что вакуум — совсем необычная среда. В нем вместе с плотностью энергии обязательно появляются натяжения, подобные натяжениям, возникающим в твердом теле при растяжении. Эти натяжения эквивалентны отрицательному давлению, поэтому так и говорят — возникает отрицательное давление.

В обычных средах давления и натяжения составляют малую долю полной плотности энергии (включающей массу покоя). В вакууме отрицательное давление огромно и по абсолютной величине равно плотности энергии. И в этом необычном свойстве заключена важная непохожесть вакуума на обычные среды.

Когда наблюдатель начинает в этой среде двигаться, на него будет набегать поток энергии, связанный с плотностью энергии, и, казалось бы, наблюдатель может измерить этот поток (это и будет «ветром»). Но, помимо этого потока, на наблюдателя будет набегать также поток энергии, связанный с отрицательным давлением. Такой поток будет по знаку отрицательным, но по модулю равен первому потоку и точно его скомпенсирует. В результате никакого «ветра» не будет! Как бы ни двигался по инерции наблюдатель, он

всегда будет измерять одну и ту же плотность энергии вакуума (если такая есть) и одно и то же отрицательное давление, и никакого «ветра», связанного с движением, возникать не будет. Вакуум одинаков для любых наблюдателей, движущихся друг относительно друга по инерции.

К вакууму мы еще неоднократно будем возвращаться, а пока обратимся к оставленным нами на время элементарным частицам.

Как мы уже говорили выше, электромагнитное взаимодействие между частицами, несущими электрический заряд, обусловлено обменом фотонами.

Слабое взаимодействие также связано с наличием особых зарядов. Однако существенная разница между электромагнитным взаимодействием и слабым состоит в том, что последнее происходит только на очень малых расстояниях. Как мы видели, это связано с огромной массой  $W^{+-}$ ,  $W^{-}$  и  $Z^0$ -бозонов. Взаимодействующие частицы могут «занимать» энергию для рождения и передачи бозонов-переносчиков только на очень короткое время. Поэтому и взаимодействовать таким способом они могут, только находясь совсем близко друг к другу. А что было бы, если бы массы всех частиц-переносчиков:  $W^{+-}$ ,  $W^{-}$ ,  $Z^0$ -бозонов и  $\gamma$ -фотонов были бы равны нулю? Или еще вопрос: что было бы при очень больших температурах, когда  $W^{+-}$ ,  $W^{-}$  и  $Z^0$ -бозоны могли бы рождаться столь же легко, как и  $\gamma$ -фотоны?

Действительно, при больших температурах все частицы обладают большими энергиями и им нет нужды «занимать» энергию для рождения массивных бозонов. Эта энергия и так у них есть. Тогда обмен указанными бозонами происходил бы столь же эффективно, как и обмен  $\gamma$ -фотонами, и осуществлялась бы полная симметрия между слабыми и электромагнитными взаимодействиями. Оказывается, в этих условиях (то есть при больших энергиях) проявляется единая сущность рассматриваемых взаимодействий, и они объединяются в единое электрослабое взаимодействие.

Таким образом, при температурах достаточно больших, как показывает расчет, превышающих миллион миллиардов градусов, существует единое электрослабое взаимодействие между частицами. Его переносчики — упомянутые бозоны и  $\gamma$ -фотоны — имеются в изобилии и не обладают массами. Оказывается, что при этом

нет массы не только у переносчиков взаимодействия, но и у всех перечисленных выше частиц — кварков и лептонов! В этом смысле они подобны фотонам. Что же происходит с понижением температуры?

Явная симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействием нарушается, пропадает. Как и почему это происходит?

Дело в том, что в игру вступают новые поля и их кванты — новые частицы, о которых мы пока ничего не говорили. Это так называемые частицы Хиггса, названные по имени их изобретателя. Они-то и нарушают симметрию. Если бы не было этих полей, то все частицы оставались бы безмассовыми и при низких температурах, и симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействиями сохранялась бы. Но прежде чем говорить о хиггсовских полях и нарушении симметрии между слабым и электромагнитным взаимодействиями, мы хотим напомнить читателю один простой опыт.

Представим себе шарик, который может кататься в ложбине, имеющей симметричную форму. Если положить шарик в любое место ложбины, то он скатится вниз на дно и, поколебавшись вокруг наинизшей точки, остановится на дне ложбины. Читатель, наверное, помнит, что чем выше поднимать какой-либо груз над наинизшим возможным уровнем, тем больше будет в поле тяготения его потенциальная энергия, пропорциональная высоте подъема. Таким образом, когда шарик находится где-то на склоне ложбины, его потенциальная энергия тем больше, чем он выше, а значит, чем дальше он находится от оси симметрии. На дне ложбины шарик имеет наименьшую энергию или, как иногда говорят, шарик находится на дне потенциальной ямы.

Пока все очень просто. Давайте теперь поставим вопрос: всегда ли при симметричной форме ложбины шарик успокаивается в положении на оси симметрии? Нет, это не всегда так. Сделаем в нашей ложбинке в центре небольшую горку. Где бы мы ни помещали теперь шарик, он, скатываясь, будет успокаиваться не на оси симметрии, а в наинизших точках сбоку от центральной горки. Его положение в покое будет явно несимметричным, несмотря на совершенно симметричную ложбину с горкой.

Правда, если положить шарик точно на вершину



центральной горки, то он останется лежать в симметричном положении. Но это не может продолжаться долго, ибо такое положение неустойчиво и при малейшем возмущении он скатится вбок, занимая устойчивое несимметричное положение.

Этот пример показывает, как в совершенно симметричной системе с симметричным начальным положением (на вершине горки) возникает явно несимметричное устойчивое окончательное состояние. При этом нарушение симметричного состояния и то, куда скатится шар, зависят от случая и происходят внезапно, как говорят, спонтанно. Поэтому такой процесс нарушения симметрии получил название спонтанного.

Вернемся к частицам и полям. При их взаимодействиях также может возникать потенциальная энергия. При этом величина потенциальной энергии может условно описываться положением шарика в ложбине. В разных ситуациях ложбина может быть с центральной горкой или без таковой. Конечно, с непривычки читателю трудно представить себе, какое отношение поле может иметь к шарiku в ложбине. Но абстрактные картинки широко распространены в науке. Здесь, в этой картинке, высота шарика над дном ложбины описывает потенциальную энергию поля.

Вернемся теперь к хиггсовским полям. Они могут находиться в двух состояниях. При температуре больше миллиона миллиардов градусов поля существуют в виде отдельных элементарных частиц. С понижением температуры до указанного значения хиггсовские поля претерпевают, как говорят, фазовый переход, они «конденсируются» подобно воде из охлаждаемого перегретого пара. При этом возникает «конденсат» хиггсовских полей, не зависящий ни от места в пространстве, ни от времени. И в создавшихся условиях его никак нельзя устранить. Таким образом, это, по существу, вакуум. Физики так и говорят — возник «новый вакуум».

Положение шарика на вершине центральной горки соответствует «старому вакууму». При больших температурах форма ложбины была другой, ее склоны поднимались вверх сразу от центра горки, и это положение шарика было устойчивым. «Старый вакуум» иногда называют «ложным вакуумом» или «вакуумноподобным состоянием». (Этот последний термин мы часто будем употреблять.) С понижением температуры

форма ложбин приобретает вид ложбины с центральной горкой.

Образование нового вакуума эквивалентно скатыванию шарика в наинизшее состояние — в ложбину с центральной горки. Шарик скатывается в наинизшее энергетическое состояние и успокаивается на дне ложбины сбоку от центральной горки. Но положение его явно несимметрично. Возникло «перекошенное» состояние.

Поэтому хиггсовские поля расщепляются на непохожие составляющие. Одной соответствует квант — массивная частица, не обладающая спином, другой — частица нулевой массы, которая поглощается частицами-переносчиками, и из-за этого  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ -бозоны приобретают массу (мы не будем здесь объяснять, почему это происходит). Одновременно приобретают массу частицы материи с полуцелыми спинами — кварки и некоторые (а может быть, и все) лептоны. Последнее получается из-за того, что они взаимодействуют с несимметричным конденсатом хиггсовских полей, составивших новый (несимметричный) вакуум. Мы и здесь не будем пояснять, как это происходит. Подобное пояснение достаточно сложно, а мы и так, наверное, несколько перегрузили читателя необычной информацией.

Фотон же — переносчик только электромагнитных взаимодействий — остался безмассовым.

Вот к каким многогранным последствиям привело «скатывание» хиггсовских полей с понижением температуры в несимметричное состояние нового вакуума. Спонтанно нарушилась симметрия.

Наверное, несколько абстрактно и непривычно выглядят рассуждения о симметричном и несимметричном положении шарика, о «скатывании» полей с энергетических горок. Но ничего не поделаешь, даже в простейшем изложении от читателя здесь требуется некоторая внимательность и фантазия.

Теперь после «скатывания» уже переносчики слабого взаимодействия приобрели массу. Эта масса делает слабое взаимодействие чрезвычайно близкодействующим, а безмассовый фотон по-прежнему обеспечивает электромагнетизму дальнее действие. Теперь и не узнать былой симметрии. Та симметрия, которая была явной и очевидной при больших температурах, теперь нарушилась и стала скрытой.

Вот почему физикам было так трудно ее распознать в условиях сегодняшней Вселенной. Но они это сумели сделать! За создание единой теории электрослабых взаимодействий С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам были в 1979 году удостоены Нобелевской премии.

Теория рассмотренных процессов в самом начале расширения Вселенной, когда были огромные температуры, была предложена советским физиком Д. Киржницем. Позднее эта теория разрабатывалась им совместно с молодым физиком А. Линде.

Не все детали описанной выше картины подтверждены с одинаковой степенью надежности. Так, пока не обнаружены хиггсовские массивные частицы. По крайней мере один сорт таких тяжелых частиц должен остаться после описанных коллизий, и он должен существовать в сегодняшней Вселенной. Хотя обнаружить подобные частицы в эксперименте очень трудно, но физики верят в успех подобных поисков.

Обратимся теперь к сильным взаимодействиям. Частицы, испытывающие сильное взаимодействие, — кварки, и не испытывающие его — лептоны, выглядят по этому признаку как совершенно различные, их превращение друг в друга кажется невозможным.

Сильное взаимодействие, как уже было сказано, связано с наличием у кварков «цветных» зарядов, и поэтому его иногда называют цветной силой.

Начнем с рассмотрения следующего вопроса. Почему все же кварки находятся в связанном состоянии внутри бариона или мезона? Разве нельзя придать кварку достаточно большую энергию, оторвать его от других кварков (как бы сильно они ни были связаны друг с другом) и заставить вылететь из бариона?

Как мы увидим, парадоксальность ситуации заключается в том, что кварки почти совсем не связаны, когда находятся внутри адрона (то есть бариона или мезона), они свободны!

Для того чтобы разобраться в этом удивительном обстоятельстве, вернемся ненадолго к электромагнитному взаимодействию.

Рассмотрим заряженную частицу, например, позитрон в вакууме. Мы уже знаем, что в вакууме непрерывно происходит рождение и уничтожение электрон-позитронных пар — «кипение» вакуума. Таким образом, наш изолированный позитрон в действительности окружен возникающими и исчезающими положительными

ми и отрицательными зарядами. Несмотря на кратковременность существования этих зарядов, они успевают обменяться с позитроном виртуальными фотонами, то есть провзаимодействовать. При этом отрицательные заряды будут притягиваться к позитрону, а положительные отталкиваться. В результате вокруг позитрона все время будет некоторый небольшой избыток отрицательного заряда, который частично экранирует положительный заряд позитрона.

Явление это получило название поляризации вакуума. Она приводит к тому, что другие удаленные реальные частицы чувствуют заряд не «голого» позитрона, а частично заэкранированного — одетого в «шубу» из противоположных по знаку зарядов, то есть проявление положительного заряда позитрона будет ослаблено. Этот «ослабленный» заряд позитрона и измеряется в обычных опытах.

Если теперь пробные реальные частицы подносить к позитрону все ближе и ближе, то они будут проникать в глубь экранирующей «шубы». Между пробным зарядом и «голым» позитроном будет оставаться все более тонкий слой, а значит, экранирование станет ослабевать.

Таким образом, на малых расстояниях эффективный заряд позитрона становится больше, то есть электромагнитное взаимодействие усиливается по сравнению с простым законом Кулона, если в него подставить заряд позитрона, измеренный со сравнительно большого расстояния.

Таков вывод квантовой электродинамики — науки об электромагнитном взаимодействии элементарных частиц.

Вернемся теперь к цветным зарядам и обусловленным ими сильным взаимодействиям. Кстати, теория, описывающая эти взаимодействия, называется, по аналогии с квантовой электродинамикой, квантовой хромодинамикой.

Согласно выводам квантовой хромодинамики, рождение виртуальных пар кварков и антикварков должно приводить к эффектам экранирования цветных зарядов так же, как это было в квантовой электродинамике. Однако здесь возможен новый процесс, который отсутствует в квантовой электродинамике. Вспомним, что переносчики электромагнитных сил — фотоны — электро нейтральны. Поэтому фотоны не могут порождать

фотоны. В отличие от них переносчики цветной силы — глюоны — сами обладают цветным зарядом, а значит, могут производить новые виртуальные глюоны. Этот процесс ведет к «размазыванию» цветового заряда, то есть к явлению, прямо противоположному экранированию. И на малых расстояниях этот процесс преобладает над экранированием.

Теперь частица с цветовым зарядом, подходя все ближе к кварку и проникая все глубже в облако размытого цветового заряда, встречает в центральных частях все меньший и меньший заряд, и на достаточно малых расстояниях интенсивность взаимодействия ее с кварком ослабевает. Это явление называют асимптотической свободой частиц на совсем малых расстояниях, так как они практически не взаимодействуют и свободны. С увеличением же расстояния все более далекие части размазанного цветового заряда включаются во взаимодействие с частицей, и его эффективность нарастает, поддерживая постоянной силу взаимодействия. Согласно современным представлениям с увеличением расстояния цветная сила не уменьшается (как в случае электрической силы), а остается постоянной. Поэтому, чтобы все дальше и дальше удалять взаимодействующие цветовой силой частицы друг от друга, надо затрачивать энергию, и при росте расстояния между частицами требуемая энергия нарастает линейно с расстоянием.

Это необычное свойство цветной силы, вероятно, и обуславливает невозможность вырвать изолированный кварк из адрона. Ситуация похожа на такую, когда взаимодействующие частицы как бы связаны резиновым шнуром. Если сообщить кварку очень большую энергию, то «резиновый шнур» разорвется и на месте разрыва за счет сообщенной энергии возникнет пара «кварк и антикварк». Улетающий кварк утащит за собой возникающий на месте разрыва антикварк, и вместе они составят мезон, который и вылетит из адрона вместо одиночного кварка.

Таким образом, кварки «заперты» внутри адронов. Они образуют системы, которые в целом нейтральны по цвету. А поскольку глюоны тоже цветозаряжены, то они также «заперты» внутри адронов. Вот почему, несмотря на то, что переносчики сильного взаимодействия — глюоны — обладают нулевой массой, как и фотоны, сильное взаимодействие, в отличие от электро-

магнитного, не простирается на большие расстояния, а ограничено примерно объемом адронов. Размер адронов порядка размеров атомного ядра.

Как уже говорилось, при температуре более миллиона миллиардов градусов существует единое электро-слабое взаимодействие. При меньшей температуре оно распадается на электромагнитное и слабое. Внешне эти взаимодействия совсем не похожи друг на друга. Сильное (цветное) даже при столь высоких температурах держится совершенно особняком, оно не похоже на электро-слабое взаимодействие. Если в электро-слабых взаимодействиях участвуют все частицы — и лептоны, и кварки, — то в сильных только кварки.

Все процессы, которые мы до сих пор рассматривали, не могут вести к превращению, например, кварка в лептон или кварка в антикварк. Конечно, при столкновении достаточно энергичных лептонов могут рождаться и кварки, но обязательно в паре с антикварками, так, чтобы суммарное количество тех и других было одинаковым. Точно так же столкновение кварка с антикварком приводит к их аннигиляции — превращению в лептоны и фотоны, но при этом исчезает обязательно пара, поодиночке кварки исчезать не могут.

Таким образом, в природе должна сохраняться разность числа кварков и антикварков. Эту разность называют барионным зарядом (точнее, барионным зарядом называют разность, деленную на три). До сих пор во всех экспериментах физиков барионный заряд сохранялся. Не могут ли при очень больших энергиях, намного превышающих уже рассмотренные (тоже немалые!), происходить какие-либо реакции, которые не сохраняют барионный заряд и которые невозможны при меньших энергиях и поэтому не были замечены физиками?

Оказывается, как утверждает теория, такие процессы возможны, но только при совершенно фантастических энергиях.

Мы рассматривали энергии, которыми обладают частицы при температуре в миллион миллиардов градусов. Теперь нам предстоит обратиться к температурам и энергиям еще в тысячу миллиардов раз большим.

Что же происходит при таких больших энергиях?

Прежде всего заметим, что чем больше энергия, тем на меньшее расстояние могут сблизиться сталкиваю-

щиеся частицы (это следует из соотношения неопределенностей квантовой механики).

Мы уже знаем, что по мере уменьшения расстояния между взаимодействующими частицами (что требует увеличения энергии сталкивающихся частиц) эффективность электромагнитного взаимодействия нарастает, а сильного — падает из-за процессов взаимодействия с вакуумом (разобраны выше экранировки и антиэкранировки).

Оказывается, что на малых расстояниях, которые в миллион миллиардов раз меньше атомного ядра, а значит, и при больших энергиях, соответствующих температуре в миллиард миллиардов миллиардов градусов, все три вида взаимодействий — электромагнитное, слабое и сильное — должны стать одинаково эффективными, потерять свою индивидуальность. При энергиях, больших указанной, должно существовать единое Великое (универсальное) взаимодействие.

При столь больших энергиях интенсивно рождаются новые частицы — переносчики универсального взаимодействия — очень массивные  $X$ - и  $Y$ -бозоны. Их массы в тысячу миллиардов раз больше масс  $W^{+-}$ ,  $W^{-}$ ,  $Z^0$ -бозонов, рассмотренных нами в электрослабых взаимодействиях. Столь тяжелые частицы могут рождаться только при очень больших энергиях. До сих пор, когда говорилось о существенно меньших энергиях, мы с этими частицами не встречались.

Свойства  $X$ - и  $Y$ -переносчиков поистине удивительны: они могут превращать кварки в лептоны и обратно, а также кварки в антикварки. Таким образом,  $X$ - и  $Y$ -частицы — это своеобразные лептокварки. Теперь стерлось различие между кварками и лептонами, которое существовало при низких температурах, и они выступают как различные проявления некой «сверхчастицы». Это исчезновение различия означает возникновение новой, более высокой симметрии — симметрии Великого объединения.

Мы помним, что рассмотренные нами до сих пор частицы (кроме  $X$ - и  $Y$ -бозонов) при температуре больше миллиона миллиардов градусов не имеют массы покоя. При температурах еще в тысячу миллиардов раз большей (температуре Великого объединения) уже все частицы, в том числе и  $X$ -, и  $Y$ -бозоны, не имеют массы покоя.

Кроме уже встречавшихся нам частиц, при этих

температурах существует еще один набор хиггсовских частиц (отличный от того, с которым мы встретились ранее). С понижением температуры ниже температуры Великого объединения срабатывает уже знакомый нам хиггсовский механизм, приводящий к нарушению симметрии, на этот раз симметрии Великого объединения. Только здесь явления, подобные описанным нами ранее, происходят с этими новыми хиггсовскими частицами.

При температурах, больших температуры Великого объединения, хиггсовские частицы были свободными. С падением температуры образуется «конденсат» хиггсовского поля — новое низшее состояние системы, то есть еще одна разновидность вакуума. Это уже третья по счету.

Разные вакуумы, или лучше сказать разные «вакуумноподобные состояния», обладают разной плотностью энергии. Из-за образования хиггсовского «конденсата»  $X$ - и  $Y$ -бозоны (переносчики универсального взаимодействия) приобретают массу — они становятся сверхтяжелыми. Рождаться при низких температурах они не могут. Единое взаимодействие теперь расщепляется на сильное и электрослабое.

Итак, мы видели, что с повышением энергии, с повышением температуры разные виды взаимодействий, совсем непохожие в обычных условиях, приобретают схожие черты и сливаются в единое взаимодействие.

На наших глазах происходит осуществление великой научной мечты А. Эйнштейна — мечты об объединении всех сил природы. При энергиях Великого объединения сливаются воедино три силы: электромагнитная, слабая и сильная. Единственная сила, оставшаяся пока в стороне, — это гравитационная, действию которой подвергаются абсолютно все виды материи. Осталось немного — объединить при каких-то совсем сверхбольших температурах силу гравитации с уже объединенной универсальной силой Великого взаимодействия. Но этот последний шаг в теории оказался и самым трудным.

Прежде чем обратиться к современным попыткам теоретиков объединить силу гравитации с другими силами природы, давайте вспомним, что природа гравитационного поля, по существу, геометрическая — это кривизна пространства-времени. Добавим еще, что гравитаци-



тационное поле, как и электромагнитное, в определенных условиях может проявлять квантовые свойства.

Известно, что квантами электромагнитного поля являются фотоны. А кванты гравитационного поля это гравитоны — пока еще не открытые гипотетические частицы — переносчики гравитационного взаимодействия. Они обладают целым спином, равным 2. Гравитоны, так же как и фотоны, не обладают массой покоя и всегда движутся со скоростью света.

А. Эйнштейн был глубоко убежден в том, что и природа электромагнитного поля также должна быть геометрической. Всю вторую половину жизни он посвятил попыткам найти геометрическое представление электромагнитного поля, которое, как он считал, определяет макроскопические свойства вещества. В его уравнениях тяготения с одной стороны стоят величины, описывающие кривизну пространства-времени (так называемый тензор кривизны), а с другой — источник тяготения, источник кривизны — величины, описывающие вещество и негравитационные поля (так называемый тензор энергии — импульса материи).

А. Эйнштейн верил, что такая двойственность должна быть чуждой и противоестественной для окончательной теории. Если слева в уравнениях стоят геометрические величины, то и справа должны быть величины той же геометрической, по существу, природы. А это значит, считал он, что описание вещества и полей должно быть геометрическим. Известный польский ученый Л. Инфельд вспоминает, как А. Эйнштейн ему сказал однажды: «...теория относительности опирается на две колонны. Одна из них — мощная и прекрасная, будто выточенная из мрамора. Это — тензор кривизны. Вторая — шаткая, словно соломенная. Это тензор энергии-импульса... Мы должны оставить эту проблему будущему».

Настойчиво работая над проблемой более трех десятков лет, А. Эйнштейн думал, что недалек от окончательного решения. В 1945 году он писал Л. Инфельду: «Я надеюсь, что открыл, как тяготение и электричество связаны друг с другом, хотя до физического оправдания еще далеко». В своих попытках объединить электричество и гравитацию он ввел еще «закрученность» пространства-времени для описания электромагнитных явлений. Однако эти его конкретные попытки к

успеху не привели и объединенная теория создана не была.

В 20-е годы немецкий физик Т. Калуца и шведский физик О. Клейн попытались объединить гравитацию Эйнштейна и электромагнетизм Максвелла также на геометрической основе, но идя совсем другим путем. Они предположили, что пространство-время отнюдь не четырехмерное (три пространственные координаты плюс время), а пятимерное, и ввели еще одну пространственную координату. Эти физики написали уравнения для искривленности пятимерного мира, подобные уравнениям гравитации Эйнштейна для четырехмерного мира. Оказалось, что дополнительные уравнения, которые при этом возникают из-за наличия еще одного измерения, являются уравнениями электродинамики Максвелла. Таким образом, оказалось, что электромагнетизму можно также придать геометрический смысл, правда, весьма необычный — связанный с наличием пятого измерения.

Попытку объединения Т. Калуцы и О. Клейна также нельзя было признать окончательно успешной. Помимо многих трудностей, о которых мы здесь говорить не будем, в их теории существует вполне очевидная проблема: почему добавочное пространственное измерение никак реально не проявляется в нашем мире? Почему мы с течением времени можем перемещаться в пространстве только в трех направлениях (длина, ширина, высота), но не можем двигаться в этом, еще одном дополнительном измерении?

Для устранения этой трудности Т. Калуца и О. Клейну приходилось делать дополнительные, весьма искусственные предположения, запрещающие, по существу, двигаться в новом измерении.

Таким образом, первые попытки объединения сил природы можно считать только весьма предварительной разведкой. Мы уже знаем, что в середине нашего столетия многие физики относились к этим попыткам весьма скептически.

Но вернемся в наше время. Выше было описано, как современные физики пришли к понятию единства разных сил природы при больших энергиях. Для этого использовались и геометрические идеи — идеи симметрии. Однако это была симметрия не в реальном физическом пространстве-времени, а в воображаемом абстрактном пространстве, изображающем различные

состояния частиц и полей, то есть в абстрактном пространстве, описывающем внутренние характеристики частиц.

Теперь, когда мы обращаемся к идее объединения всех сил с гравитацией, нам надо вспомнить, что гравитация связана с кривизной реального пространства-времени. Поэтому при построении суперобъединения нам невольно придется как-то объединить геометрические характеристики четырехмерного пространства-времени с характеристиками пространства внутренних состояний. Как это можно сделать? И какой в этом смысл?

Прежде чем приступить к рассказу об этом, отметим еще одно обстоятельство. Рассматриваемые нами частицы мы делили на два больших класса: на фермионы — частицы физической материи и бозоны — частицы-переносчики взаимодействий. Первые обладают полущелым спином, вторые — целым. Эти два класса частиц совершенно различны по своим свойствам. До сих пор, когда мы говорили о взаимодействиях, эти два класса выступали в совершенно разных «ипостасях». Бозоны, передавая взаимодействие, как бы «обслуживали» фермионы. Не могло быть и речи о превращении фермионов и бозонов друг в друга.

Но если речь идет об универсальном объединении всех видов взаимодействий в некое единое взаимодействие, то возникает мысль: нельзя ли и фермионы, и бозоны тоже объединить в какую-то единую сущность? Тогда фермионы и бозоны будут только разными ее проявлениями. После того, как мы уже познакомились с объединением современной физикой столь несхожих вещей, как, например, пространство и время, электромагнетизм и ядерные силы, мысль об объединении составных частей вещества и переносчиков сил уже не кажется столь абсурдной.

Более того, оказалось, что объединение гравитационных сил с другими силами включает в себя и объединение бозонов и фермионов, возможность их превращения друг в друга.

Конечно, эта суперсимметрия всех сил, всех частиц может проявиться только при очень больших энергиях, а в обычных условиях должна быть тщательно скрыта, нарушена, то есть частицы вещества, частицы-переносчики и разные силы совсем не похожи друг на друга. Каковы же должны быть те энергии, при которых про-

является единая природа всех фундаментальных взаимодействий?

Эту энергию легко оценить. Действительно, здесь должны проявиться все фундаментальные силы, а значит, должны одновременно играть роль фундаментальные константы, описывающие: 1) квантовые свойства материи (это постоянная Планка  $\hbar$ ); 2) предельные скорости (константа  $c$ ); 3) тяготение (константа  $G$ ). Из этих констант можно скомбинировать величину размерности энергии (ее называют планковской энергией). Она оказывается еще в сто тысяч раз большей, чем температура Великого объединения.

Эта энергия и должна быть энергией объединения всех сил в природе, включая гравитационные. Ее называют энергией «суперобъединения». Ей соответствует температура в сто тысяч миллиардов миллиардов миллиардов градусов.

Мы вынуждены будем ограничиться совсем краткими замечаниями по поводу некоторых современных вариантов суперобъединения. Причин здесь несколько. Во-первых, пояснения очень трудно сделать качественно, то есть без формул, да к тому же необходима краткость, ибо все же цель нашей книги несколько иная. Во-вторых, специалисты еще отнюдь не уверены, что они здесь выявили хотя бы главные черты явлений, и работа продолжается широким фронтом и в разных направлениях.

Напомним прежде всего попытку объединения в один объект гравитации и электромагнетизма, сделанную Т. Калуцей и О. Клейном. Для этого потребовалось ввести дополнительное пространственное измерение.

Нам теперь предстоит объединить с гравитацией все виды сил и частиц. Возникает идея — нельзя ли сделать это, введя новые дополнительные измерения пространства. Эта идея оказалась весьма плодотворной. В настоящее время есть варианты теории, в которых рассматриваются и 10, и 11 и даже 26 измерений вместо обычных четырех у пространства-времени. (Наиболее предпочтительна, вероятно, теория с 10 измерениями.)

Геометрические свойства этих дополнительных измерений и позволяют с единой точки зрения описать все проявления свойств вещества и переносчиков взаимодействий. Тем самым осуществляется великая мечта А. Эйнштейна.

Но спрашивается, как же решается уже отмечавшаяся проблема: почему мы не обнаруживаем на практике реально дополнительных измерений в нашем мире, то есть почему, например, в этих дополнительных направлениях нельзя двигаться, как это иногда описывается в фантастических романах?

Выход из этого затруднения состоит в идее так называемой *компактификации*. Согласно этой идее дополнительные пространственные измерения скручены, замкнуты (как одно из измерений листа, свернутого в цилиндр). Эти дополнительные измерения компактифицируются, когда энергия уменьшается ниже планковской. Причем радиус «свернутых» измерений ничтожен — он равен планковской длине, о которой мы говорили выше. Она в сто миллиардов миллиардов раз меньше размеров атомного ядра.

Ясно, что ничтожная протяженность в дополнительных измерениях в обычных условиях сравнительно небольших энергий и не позволяет обнаружить эти измерения. Они проявляются только косвенно в виде разнообразия многих сил и зарядов частиц.

Суперсимметрия предполагает существование целого ряда новых частиц. Мы подчеркивали, что суперсимметрия объединяет фермионы и бозоны. Каждому полю, каждой частице здесь соответствует суперпартнер. Так, помимо гравитона — переносчиков гравитационных сил со спином 2, являющихся бозонами, теория включает еще также *гравитино* — частицы со спинами  $3/2$  (то есть фермионы), которые в обычных условиях обладают массой (вероятно, порядка ста или тысячи масс протона). Фотону соответствуют тяжелые *фотино* со спином  $1/2$  (масса их, вероятно, также порядка ста или тысячи масс протона) и т. д. Все эти частицы пока не открыты.

Существуют теории с весьма сложными и экзотическими наборами частиц. Мы, однако, вынуждены здесь остановиться в нашем увлекательном путешествии в область, еще в значительной степени неизведанную.

Наше краткое знакомство с удивительным микромиром позволит теперь рассмотреть, что было в самом начале расширения мира, то есть как взорвалась наша Вселенная.

В двух предыдущих и в нескольких последующих главах мы много говорим о достижениях современной физики и астрофизики и не так уж часто обращаемся к

самому понятию времени. На первый взгляд это кажется странным в книге, главным героем которой является время. Но это только на первый взгляд. Необычные свойства времени, раскрывающие его суть, проявляются в процессах, протекающих в самых глубинах микромира и в далеких просторах космоса. Только достаточно подробное знакомство с этими процессами позволит нам продолжить рассказ о времени.



## ИСТОКИ

Мы отправляемся теперь к самым истокам реки времени. Что же произошло в самом начале? Что является причиной начала расширения?

В разделе «К истокам реки времени» мы пояснили, что огромное давление горячего вещества в самом начале не может быть причиной больших скоростей разлета вещества, ибо в однородной Вселенной нет перепада давления, который только и создает силу, ведущую к разлету. Что же тогда вызвало «первотолчок»?

Ключ к пониманию «первотолчка» лежит в существовании при больших плотностях и температурах особого вакуумноподобного состояния материи.

Мы уже познакомились с несколькими вакуумноподобными состояниями в разделе «Великое объедине-

ние». При температурах «суперобъединения» возникает, как считают теоретики, совсем уникальное вакуумноподобное состояние, имеющее огромную плотность энергии и соответствующую ей гигантскую плотность массы. Эта плотность изображается таким числом: единица с девяносто четырьмя (!) нулями граммов в кубическом сантиметре. Огромность приведенного числа трудно вообразить. Как мы подчеркивали в разделе «Великое объединение», у любого вакуума, если у него есть плотность массы, должно быть и огромное отрицательное давление.

В соответствии с теорией тяготения Эйнштейна, гравитация создается не только массой, но и давлением. Обычно давление невелико, и связанная с ним гравитация пренебрежимо мала. В случае вакуумноподобного состояния картина получается совсем иная, ибо давление огромно и гравитация, создаваемая им, в этом случае превышает гравитацию, создаваемую массой. Но ведь давление вакуума отрицательно, значит, вместо тяготения будет возникать антитяготение — гравитационное отталкивание! И в этом все дело. Именно рассмотренное явление и есть ключ к пониманию «первоголчка». При огромной начальной плотности и температуре «суперобъединения» антигравитационные силы вакуума создают мощное расталкивание всех частиц материи. Эти частицы приобретают гигантские начальные скорости разлета. От чего процесс необычайно быстрого расширения Вселенной получил название «раздувания» или, используя английский термин, — «инфляции».

Не менее важно, что первичное вакуумноподобное состояние было крайне неустойчивым. Оно существовало только в течение примерно одной стомиллионной миллиардной миллиардной доли секунды! Затем распалось, и его плотность массы превратилась в «обычные» суперэлементарные частицы, о которых мы говорили в предыдущих разделах, обладавшие гигантскими энергиями. Так из вакуумноподобного состояния рождалась горячая Вселенная с температурой в этот момент в миллиард миллиардов миллиардов градусов.

Частицы, родившиеся из первичного вакуума, имели большие начальные скорости разлета из-за действия сил антигравитации. Но вместе с распадом «супервакуума» эти силы исчезли и заменились обычным тяготением. Разлетающееся родившееся горячее вещество много



миллиардов лет спустя, став очень разреженным и охладившись, дробится силами взаимного тяготения на куски, из которых рождались затем галактики, звезды и их системы. Физические процессы, которые при этом происходили, подробно описываются во многих книгах, в том числе и популярных. Поэтому мы лишь коротко скажем о них.

После распада «ложного вакуума» и разогрева Вселенной в ней имелась своеобразная сверхгорячая плазма из элементарных частиц и их античастиц всевозможных сортов. Они бурно взаимодействовали друг с другом.

С расширением Вселенная охлаждалась. По прошествии примерно одной десятой доли секунды с начала расширения температура упала до тридцати миллиардов градусов. В горячем веществе имелось много фотонов большой энергии. Плотность и энергия их были столь велики, что происходило взаимодействие света со светом, приводившее к рождению электронно-позитронных пар.

Аннигиляция пар, в свою очередь, приводила к рождению фотонов, а также к возникновению пар нейтрино и антинейтрино. В этом «бурлящем котле» находилось и обычное вещество, но при очень высоких температурах сложные атомные ядра существовать не могли. Они моментально разбивались окружающими энергичными частицами, и поэтому вещество существовало в виде тяжелых частиц — нейтронов и протонов. Взаимодействуя с энергичными частицами «котла», нейтроны и протоны быстро превращались друг в друга, не имея возможности соединиться друг с другом, так как возникающие из них при этом ядра дейтерия тут же разбивались частицами большой энергии. Так, из-за большой температуры в самом начале обрывалась цепочка, которая привела бы к образованию гелия и других более тяжелых элементов.

Спустя несколько минут после начала расширения температура во Вселенной упала уже ниже миллиарда градусов. Теперь соединение протонов и нейтронов в ядра дейтерия уже стало возможным. Возникающие ядра дейтерия вступали в дальнейшую цепочку ядерных превращений, пока не образовались ядра атома гелия. На этом ядерные реакции ранней Вселенной прекращались.

Расчеты показали, что в первичном веществе должно

образоваться около 25 процентов гелия, а остальные 75 процентов — это ядра атомов водорода (протоны). Наблюдения подтвердили, что первые звезды во Вселенной имели химический состав, соответствующий предсказаниям теории горячей Вселенной. Ядра атомов более тяжелых элементов возникли во Вселенной гораздо позже (уже в эпоху, близкую к нашей) в ядерных процессах в звездах.

В ранней Вселенной ядерные реакции прекратились спустя пять минут после начала расширения. Все активные процессы с элементарными частицами к этому времени закончились, и наступил длительный период, когда во Вселенной ничего «интересного» не происходило.

В это время расширяющееся вещество было ионизированным из-за большой температуры (такое вещество называют плазмой). Плотная плазма непрозрачна для излучения, и оно (излучение) определяло силу давления. В этой смеси плазмы и излучения имелись небольшие по амплитуде колебания плотности — звуковые волны. Ничего, кроме звуковых колебаний, в расширяющемся веществе не происходило.

Только по прошествии примерно 300 тысяч лет расширяющаяся плазма остыла до четырех тысяч градусов и превратилась в нейтральный газ (произошел процесс захвата атомными ядрами свободных электронов). Этот газ практически стал прозрачным для реликтового излучения. Теперь давление его определялось только движением нейтральных атомов, так как давление излучения уже отсутствовало, упругость газа резко упала и стало возможным срабатывание, как говорят, механизма гравитационной неустойчивости. (Теория этих процессов была разработана советским физиком Е. Лифшицем в 1946 году.)

Уплотнения в звуковых волнах в газе, имеющие достаточно большие размеры, теперь силами тяготения начинают все более и более усиливаться. В конце концов из них (уплотнений) начали образовываться обширные облака, эволюционирующие затем в галактики и скопления галактик. Внутри галактик появились звезды.

Но это, как говорится, уже совсем другая история. Давайте вернемся к самому началу.

Мы рассмотрели, как вакуумноподобное состояние породило первотолчок. Таково согласно современной науке таинство рождения Вселенной.

Первая догадка о том, что вакуумноподобное со-

стояние, а следовательно, и силы антигравитации, может возникать при сверхплотном веществе в начале расширения Вселенной, была высказана ленинградским физиком участником Великой Отечественной войны Э. Глинером.

В конце 60-х годов он приезжал в Москву, чтобы рассказать о своей гипотезе «великим метрам» космологии и другим ученым. Но его не поняли. Ничего тогда не понял и я. Мне казалось, что гигантские отрицательные давления не могут реально возникать в природе, а значит, ни о каких антигравитационных силах не может быть и речи. Так считали тогда почти все. Не хватило фантазии и у меня. Но в начале 1972 года советские физики Д. Киржниц и А. Линде показали, что подобное состояние в расширяющейся Вселенной может возникать с понижением температуры и плотности. Несколько позже эти идеи были развиты применительно к космологии в работах ленинградских физиков Э. Глинера, Л. Гуревича, И. Дымниковой, а затем, с использованием новейших достижений физики высоких энергий, А. Гусом, А. Альбрехтом, П. Стейнхартом в США, и у нас в стране — А. Линде, А. Старобинским и другими.

Тут возникает ряд вопросов, и первый из них следующий: «А что было еще раньше?»

Это трудный вопрос. Еще несколько десятилетий назад никакого ответа на него не было. Более того, когда я пришел в науку, такой вопрос некоторые наши философы считали антинаучным, антимарксистским. «Как! — патетически восклицали они. — Было начало Вселенной?! Значит, Вселенная сотворена богом?» и т. д., и т. п. Неприятная история в середине 60-х годов произошла со мной, когда я начинал работать у академика Я. Зельдовича.

К нам тогда пришел корреспондент газеты «Комсомольская правда» и попросил нас дать интервью о проблемах современной космологии. Поговорив немного, мы расстались, и корреспондент, весьма возбужденный проблемой начала расширения Вселенной (о чем тогда почти ничего достоверного известно не было), ушел, сказав, что подготовит текст для газеты. Как известно, стиль газетных статей часто весьма далек от стиля изложения ученых. Окончательный вариант интервью с нами согласован не был, и с «броским» заголовком «Когда Вселенной еще не было» статья была опублико-

вана. Разумеется, там оказались перепутанными существенные моменты, а кричащий заголовок без разъяснений, да еще в то время, вызвал кривотолки.

На нас набросились философы, а также функционеры, считавшие своим «долгом» это сделать. Хорошо еще, что положение Я. Зельдовича — академика, трижды Героя Социалистического Труда — не позволило ревнителям «чистоты» диалектического материализма сделать более серьезные выводы. Но, конечно, никакими запретами и запугиваниями нельзя остановить развитие науки. После многочисленных исследований за последние четверть века вопрос о самом начале расширения и проблема «Что было до того?» постепенно проясняются.

Как уже было сказано, расширение, вероятно, началось со сверхплотного вакуумноподобного состояния и огромной температуры. Здесь искривленность пространства-времени и описываемые им приливные силы столь же велики, как и в сингулярности в черной дыре. Сингулярность (ее называют космологической) в начале расширения Вселенной во многом похожа на сингулярность внутри черных дыр. Но имеются и существенные отличия. Во-первых, космологическая сингулярность относится ко всей Вселенной, а не к какой-то части вещества, как в случае черных дыр. Во-вторых, она лежит не в конце процесса сжатия (как сингулярность в черных дырах), а в начале процесса расширения.

Последнее особенно существенно. Сингулярность черных дыр мы снаружи (извне черной дыры) увидеть не можем, она никак не влияет на события во Вселенной вне черной дыры. (Это обстоятельство было названо английским физиком-теоретиком Р. Пенроузом принципом космической цензуры.) Космологическая сингулярность, наоборот, явилась истоком всех процессов в расширяющейся Вселенной. Все, что мы видим сегодня, является следствием сингулярности. В этом смысле мы можем изучать космологическую сингулярность по наблюдаемым ее последствиям, можем ее «видеть».

Советские физики В. Белинский, Е. Лифшиц и И. Халатников нашли самые общие решения уравнений, описывающие возможное движение вещества вблизи сингулярности. К космологической сингулярности применимо все то, что мы говорили о сингулярности в черных дырах. Что было до сингулярности? Было ли сжатие всего вещества и текло ли обычное время или нет?

Окончательного ответа на эти вопросы пока нет. Но большинство специалистов считают, что никакого сжатия не было и космологическая сингулярность является истоком реки времени в том смысле, как сингулярность в черных дырах является концом «ручeyков времени». Это означает, что в космологической сингулярности время тоже распадается на кванты, и, возможно, сам вопрос: «Что было до того?» — теряет смысл.

Здесь у исследователей пока очень много неясностей. Вероятно, вблизи сингулярности, в масштабах квантов времени и пространства, о которых мы упоминали выше, существует своеобразная «пена» квантов пространства-времени, как говорят, происходят квантовые флуктуации пространства и времени. Рождаются и тут же исчезают маленькие «виртуальные» замкнутые миры и виртуальные черные и белые дыры. Это микроскопическое «кипение» пространства-времени в некотором отношении аналогично рождению и умиранию виртуальных частиц, о которых мы говорили, описывая квантовую природу вакуума (см. стр. 118).

Напомним еще, что при рассматриваемых больших энергиях в очень малых масштабах, возможно, пространство имеет не три, а больше измерений (см. стр. 161). Эти дополнительные измерения так и остаются скрученными, «скомпактифицированными». А в трех пространственных измерениях Вселенная расширяется, превращаясь в «нашу Вселенную».

Ну а что можно сказать о времени? Возникло ли наше время вместе с началом расширения Вселенной или Вселенной еще не было, а время уже существовало? Любопытный разговор об этом состоялся у меня осенью 1988 года с двумя известными учеными — уже знакомым нам физиком Р. Рuffини и директором Ватиканской обсерватории Дж. Коэнном.

Читателя не должно удивлять ни то, что в Ватикане есть астрономы, занимающиеся самыми современными проблемами астрофизики, ни то, что мы встречаемся с ними и обсуждаем многие вопросы. Один из самых известных космологов, бельгиец Дж. Леметр, много сделавший для развития теории Фридмана и связавший ее с астрономическими наблюдениями, был в 1960—1966 годах президентом Папской академии наук в Ватикане.

Современный мир сложен и многообразен, он становится все более открытым и взаимосвязанным. В наше

время папа Иоанн-Павел II активно выступает за всеобщий мир. Пару лет назад он принял представителей астрономии и исследователей космического пространства и произнес речь. Я чувствовал себя несколько необычно, находясь в зале приемов в Ватикане, когда его слушал. В речи высказывалась необходимость мирного исследования космоса, единения всех людей и необходимость дальнейшего успешного развития науки. Сложное переплетение чувств, эмоций, знаний и веры вызвала эта речь. Было осознание того, что этот многоликий мир, полный противоречий, в том числе и противоречий идейных, может жить в ладу и развиваться, если над всем главенствует разумный подход и мудрые личности осуществляют волю людей. Насколько я знаю, мои коллеги испытывали подобные же чувства.

Когда мы встретились в Москве с Дж. Коэном, я решил спросить его, что он думает о понятии времени, почему оно направленно течет от прошлого к будущему. Я не был удивлен тем, что вопрос его несколько смутил: смущаются почти все, кого спрашиваешь об этом. Это действительно один из самых простых «детских» вопросов, на которые особенно трудно отвечать (см. главу «Вместо предисловия»). После короткой паузы он заметил, что он, конечно, может сказать общеизвестные истины из физики, которые наверняка мне известны (о некоторых из них мы дальше поговорим), но хотел бы обратить мое внимание на мысли философа святого Августина о времени. Одно высказывание этого философа я уже приводил в конце первой главы. Дж. Коэн напомнил, что Августин настойчиво подчеркивал мысль о возникновении времени вместе со Вселенной. Поэтому вопрос о том, что было до возникновения Вселенной, бессмыслен, ибо не было этого «до того», не было самого времени. Это очень глубокое замечание.

С сегодняшней точки зрения мы должны сказать, что время в сингулярности в корне меняет свои свойства, и начало расширения мира есть исток нашего непрерывного потока времени. Можем ли мы сказать что-либо еще о сверхплотном сингулярном состоянии?

Американский физик Дж. Уилер последние тридцать лет настойчиво подчеркивает принципиальную важность квантовых флуктуаций свойств пространства-времени, которые должны иметь место в таком необычном состоянии. Здесь пространство-время, как мы знаем,

представляет собой «дышащую» пену из возникающих и тут же пропадающих черных и белых дыр, очень маленьких замкнутых мини-вселенных и еще более сложных топологических структур. В последние годы советские физики А. Линде и А. Старобинский развили эти представления в рамках современной физики и космологии.

Советский физик А. Линде, о котором мы уже говорили, последние пятнадцать лет настойчиво работает над проблемой космологической сингулярности. Его идеи смелы и оригинальны. У меня буквально дух захватило, когда он впервые рассказал мне о своей новой теории сингулярного состояния и современной структуры Вселенной.

Согласно нарисованной им картине подавляющая часть физического пространства-времени находится в состоянии «квантовой пены» с плотностью, близкой к начальной огромной плотности. В возникающих из нее «пузырях» происходят квантовые флуктуации, и в то же время они раздуваются из-за гравитационного отталкивания вакуумноподобного состояния, которое там имеется. Большая часть объемов пузырей из-за флуктуаций тут же возвращается в состояние «пены». В малой же части объема продолжается раздувание, сопровождающееся квантовыми флуктуациями плотности вакуумноподобного состояния. Очень малая доля первоначального объема после длинной цепочки случайных флуктуаций может существенно уменьшить свою плотность. Теперь амплитуда квантовых флуктуаций не так велика, как раньше. Эти объемы продолжают систематически раздуваться, как было описано в начале данного раздела, превращаясь после распада вакуумноподобного состояния в горячие вселенные. Временные масштабы всех этих процессов, как помнит читатель, ничтожно малы.

Миры находятся в вечном кружении  
От сотворения до распада,  
Подобно пузырям на поверхности реки,  
Всплывая, взрываясь и уносясь прочь.  
П. Шелли

В одной из таких вселенных мы и находимся.

Можно сказать, что происходит вечное рождение Вселенной из флуктуаций (или, если угодно, рождение многих вселенных), вечное воспроизводство Вселенной

самой себя. У такого мира в целом нет начала и не будет конца. Он вечен и юн одновременно. Это — картина взрывающейся Вечности.

При рождении новых мини-вселенных из вакуумной пены происходят, вероятно, изменения или, как говорят, флуктуации всех физических параметров, включая изменение размерности пространства и времени и флуктуации самих физических законов.

Итак, возможно, природа «пыталась» несчетное число раз создавать вселенные с самыми разными свойствами. Мы живем в «наиболее удачном» (для нас) экземпляре этого вечного «творения». В нашей Вселенной физические условия оказались наиболее подходящими для возникновения жизни.

Как показывает анализ, возникновение сложных структур, а тем более жизни, во вселенных, где пространство имеет два или, допустим, четыре измерения, невозможно.

Рассмотрим этот важный вопрос подробнее. Почему у нашей Вселенной пространство имеет именно три измерения — длину, ширину и высоту, а не, скажем, два или пять измерений? То, что здесь кроется какая-то загадка, физики осознали достаточно давно. Еще известный австрийский физик Э. Мах прямо поставил вопрос: «Почему пространство трехмерно?» Серьезный анализ проблемы был начат физиком, уроженцем Вены П. Эренфестом.

Чтобы попытаться осознать суть этой проблемы, можно постараться представить, что было бы, если бы пространство имело число измерений, отличное от трех. Посмотрим, что при этом произойдет с простейшими взаимодействиями.

Одним из самых простых примеров физических взаимодействий является закон Кулона для покоящихся зарядов и закон Ньютона для тяготеющих масс. В обоих случаях сила взаимодействия ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния. Но еще немецкий философ И. Кант понял, что закон обратных квадратов есть следствие трехмерности нашего пространства. В самом деле, почему сила, например, электростатического взаимодействия ослабевает с расстоянием? Наиболее наглядный ответ заключается в том, что с ростом расстояния силовые линии поля распределяются на все большей поверхности сферы, охватывающей заряд и имеющей радиус, равный расстоянию, разделяющему



заряд и пробную частицу. Площадь сферы растет как квадрат радиуса, значит, плотность силовых линий, пронизывающих эту сферу, уменьшается обратно пропорционально квадрату радиуса, что и определяет закон изменения силы.

Но сказанное справедливо только в трехмерном пространстве. Если пространство четырехмерно, то площадь трехмерной сферы (геометрического места точек, равноудаленных от центра в четырехмерном пространстве) пропорциональна уже кубу радиуса, для пространства пяти измерений эта площадь пропорциональна радиусу в четвертой степени, и так далее. Отсюда получается и закон изменения электростатической и гравитационной силы в многомерном пространстве. Почему так важно изменение закона падения силы в пространстве с разной размерностью?

Рассмотрим движение пробного заряда на круговой орбите вокруг центрального заряженного тела (с зарядом противоположного знака, чтобы было притяжение) в пространстве любого числа измерений. Пусть задан момент количества движения заряда (он не может меняться при движении, излучением волн мы пренебрегаем). Тогда центробежные силы всегда будут обратно пропорциональны кубу расстояния и не зависят от числа измерений пространства. Из механики известно, что для существования устойчивых круговых орбит необходимо, чтобы центробежные силы уменьшались с расстоянием быстрее, чем сила притяжения. Иначе движение по кругу будет неустойчивым и малейшее возмущение приведет либо к падению заряда к центру, либо к удалению его в бесконечность. А отсутствие устойчивых круговых орбит означает отсутствие вообще связанных состояний, когда заряд движется в ограниченной области пространства вокруг центрального тела. Из сказанного следует, что для существования связанных состояний необходимо, чтобы размерность пространства была не более трех. Такое заключение было получено впоследствии и в квантовой механике А. Гуревичем и В. Мостапаненко, а также Ф. Татерлини.

Естественно, все сказанное о зарядах справедливо и для движений под действием тяготения, так как закон Ньютона похож на закон Кулона.

Полученный выше вывод представляется неожиданным. На первый взгляд кажется, что с увеличением числа измерений пространства открываются новые воз-

возможности для усложнения движений в нем тел, а значит, и для существования более сложных структурных образований. На деле же оказывается, что в таких пространствах нет связанных устойчивых систем тел, взаимодействующих электрическими и гравитационными силами, то есть в них не может быть ни атомов, ни планетных систем, ни галактик!

С другой стороны, если бы пространство было двухмерным или даже одномерным, то в таких пространствах взаимодействующие заряды противоположных знаков никогда не могли бы улететь на сколь угодно большие расстояния. Здесь силы падают с расстоянием слишком медленно, и какую бы начальную скорость ни придать заряду, центральное тело своей силой притяжения остановит улетающий заряд и заставит его двигаться к себе. В таких пространствах не существовало бы свободного движения притягивающихся тел.

И только в трехмерном пространстве возможны и связанные и свободные состояния, тела могут кружить друг около друга, а при большой скорости могут разлететься.

После всего сказанного, наверное, не столь странно выглядит утверждение, что если природе пришлось много раз пробовать «создавать» вселенные с разным числом измерений пространства, то только при трехмерном возникали бы возможности для существования и связанных гравитирующих систем, и свободных тел, для существования связанных и свободных состояний движения электронов в атомах. Значит, только в этом случае возможно возникновение очень сложных и разнообразных структур, обладающих возможностью возникать и распадаться. Только здесь есть возможность изменчивости, эволюции, возникновения жизни, а следовательно, именно в таких пространствах (и, вероятно, только в них!) могут существовать разумные существа. Поэтому нечего удивляться, что мы живем именно в трехмерном пространстве.

В пространствах с другим числом измерений жизнь не могла возникнуть. То же можно сказать о мирах с другими физическими законами. Жизнь там также не могла бы возникнуть. Более того, во вселенных с хотя бы слегка другими массами элементарных частиц не было бы обычного вещества.

Откуда такое заключение? Для примера рассмотрим простейший атом водорода. Он может существовать не-

ограниченно долго, если его не подвергать внешним воздействиям. Электрон и протон в нейтральном атоме не вступает в реакцию с образованием нейтрона и нейтрино, несмотря на то, что есть отличная от нуля вероятность для электрона находиться в месте расположения протона. Однако подобная реакция происходит при столкновении электронов с большой энергией с протонами. Невозможность реакции в нейтральном атоме обусловлена недостатком энергии. Сумма масс протона и электрона меньше, чем масса нейтрона. Недостаток составляет около тысячной доли массы нейтрона. Если вообразить, что масса нейтрона уменьшится всего на одну тысячную от своей величины, то реакция образования нейтрона станет возможной. Протон бы достаточно быстро захватывал электрон, и атом водорода перестал бы существовать. То же произошло бы при аналогичном утяжелении протона. Изменение массы этих частиц примерно на 0,1 процента их величины привело бы к катастрофическим последствиям — к отсутствию водорода в сегодняшней Вселенной. Но это означало бы отсутствие главного ядерного топлива для звезд. При ничтожной вариации массы элементарных частиц во Вселенной не было бы звезд типа нашего Солнца, не было бы химических соединений, содержащих водород, и жизнь в такой Вселенной, по-видимому, была бы невозможной.

Можно продолжить эту линию аргументов и привести следующий факт. В мире элементарных частиц сильное взаимодействие таково, что ядерные силы достаточны, чтобы удержать протоны и нейтроны в сложных атомных ядрах. Если бы эти силы были несколько меньше, то их оказалось бы недостаточно для устойчивого существования всех сложных атомных ядер. Это означает, что в природе не были бы возможны химические элементы тяжелее водорода. Не были бы возможны ни соответствующие ядерные процессы в звездах, ни химические формы движения материи, и, по всей вероятности, невозможна была бы и жизнь.

Наконец, рассмотрим еще одно следствие, связанное на этот раз с воображаемым изменением «постоянной тяготения».

Известно, что в звездах с массой близкой к массе Солнца и меньше значительные толщи их поверхностных слоев испытывают конвективное перемешивание. В то же время более массивные звезды после образова-

ния не имеют поверхностных конвективных слоев. Существует гипотеза, что образование планетных систем, происходящее совместно с образованием звезд, может успешно осуществляться только у таких звезд, которые после образования сохранили поверхностную конвекцию.

Анализ показал, что если бы «постоянная тяготения» оказалась заметно больше, чем это есть на самом деле, то все звезды после образования не имели бы поверхностных конвективных слоев, а значит, не имели бы, вероятно, и планетных систем. По-видимому, жизнь в такой вселенной была бы невозможна. Хотя в данном случае аргументация основывается на ряде гипотез, тем не менее вывод тоже впечатляющ.

Мы не станем приводить дальнейших примеров и только заметим, что внимательный анализ показывает следующее. Изменение некоторых физических постоянных может привести к невозможности вообще образоваться галактикам, звездам или даже элементарным частицам! То есть приведет к невозможности появления сколь-нибудь сложной структуры во Вселенной.

Таким образом, относительно небольшие вариации фундаментальных постоянных ведут не просто к небольшим количественным изменениям, а к кардинальным качественным изменениям в природе. В этом смысле наша Вселенная оказалась весьма неустойчивой по отношению к подобным изменениям в законах физики.

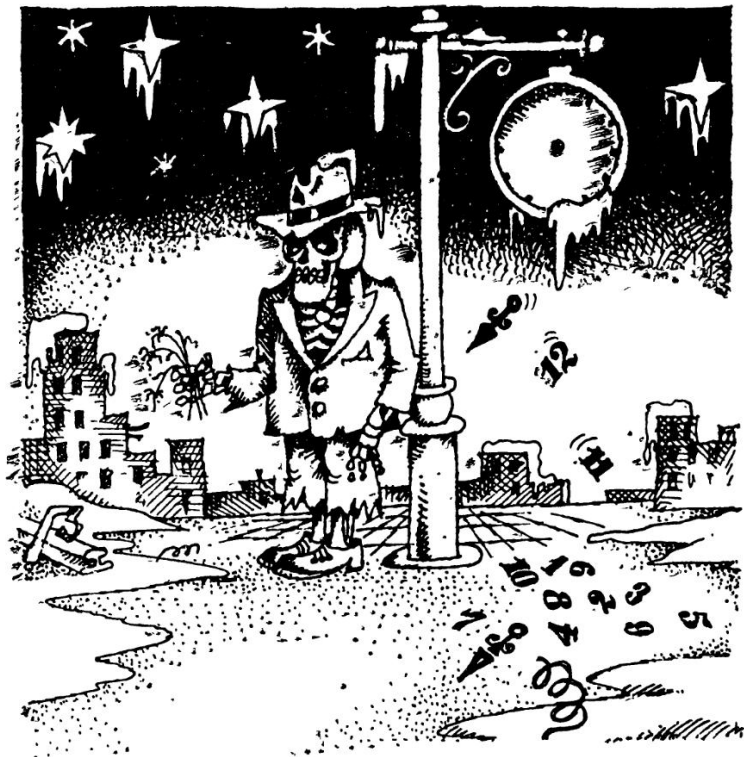
Вот почему мы видим Вселенную именно такую, как она есть. Во Вселенной иной, например, с двумерным пространством или иной постоянной тяготения, мы не могли бы жить.

Надо помнить, что «наша Вселенная» не является ни наиболее типичной, ни наиболее вероятной по своим свойствам частью мира. Возможно, есть бесконечное множество других «безжизненных» вселенных, совсем непохожих на нашу. Они могут иметь, например, четырехмерное пространство и другие физические законы.

Мы видим, как современная наука решает вопрос о том, могла ли окружающая нас Вселенная быть устроена иначе. Иных миров может быть великое множество, но жизнь, подобная нашей, возможна, вероятно, лишь в таких мирах, как наш. В этом суть так называемого «антропного принципа», который активно обсуждается современной наукой.

Вот как выразили суть этого принципа два ученых. Советский космолог А. Зельманов: «Мы являемся свидетелями природных процессов определенного типа только потому, что процессы иного типа протекают без свидетелей». Американский физик Дж. Уилер: «Существующего во Вселенной порядка вещей могло не быть без человека, но, поскольку есть человек, Вселенная именно такова».

Открытая А. Фридманом и Э. Хабблом взрывающаяся Вселенная, казавшаяся еще недавно невообразимо сложной и не поддающейся человеческому воображению «всей Вселенной», оказалась ничтожной песчинкой в еще бесконечно большем и более сложном потоке окружающего нас мира, песчинкой в бурном потоке времени с самым неожиданным и коварным руслом.



## НАША ВСЕЛЕННАЯ В БУДУЩИХ ПОТОКАХ РЕКИ ВРЕМЕНИ

После того, как мы побывали у истоков реки времени, давайте отправимся к ее устью, обратимся к проблеме будущего Вселенной. И первый вопрос, который здесь возникает, — вечно ли будет происходить наблюдаемое сейчас расширение нашей Вселенной.

Силы взаимного тяготения небесных тел с течением времени замедляют скорость расширения Вселенной. Если тяготение не очень велико, то оно никогда не сможет затормозить разбегание галактик и расширение будет продолжаться вечно. Но есть и другая возможность. Если эти силы велики, то они остановят разлет и заставят Вселенную снова сжиматься к сингулярному состоянию.

Тяготение зависит от средней плотности вещества во Вселенной. Чем больше эта плотность, тем сильнее гравитация. Таким образом есть критическое значение плотности, которое отделяет случай вечного расширения от случая смены в будущем расширения на сжатие. Это критическое значение совпадает с приведенным нами в главе «К истокам реки времени» значением, отделяющим случай бесконечного пространства от случая замкнутого пространства. Напомним, что эта критическая плотность составляет примерно пять масс Солнца в кубе с длиной стороны в одну тысячу световых лет.

Как мы уже говорили, до сих пор неизвестно, больше ли истинное значение средней плотности всех видов материи во Вселенной, чем критическое. Это связано с трудностью учета «скрытой массы» — невидимых форм материй. Здесь мы остановимся на этой проблеме несколько подробнее.

Еще лет двадцать назад астрономы считали, что Вселенная в самых больших масштабах — это именно мир галактик и их систем. Изучая нашу звездную систему, Галактику, они установили, что в пределах ее видимых границ почти все вещество сосредоточено в звездах. Всего Галактика содержит примерно 200 миллиардов звезд. Общая масса их около 150 миллиардов масс Солнца. Газ и пыль между звездами дают к этому совершенно незначительную добавку (около двух процентов).

Казалось, что и другие галактики в основном состоят из светящихся звезд, а пространство между звездными системами — галактиками — практически пусто. Галактики собраны в группы и скопления разных масштабов, образуя ячеисто-сетчатую крупномасштабную структуру Вселенной. В «стенках ячеек» много галактик, а внутри — пустота. Размер типичных пустых областей, в которых галактик мало или совсем нет, около 100 миллионов световых лет. Расстояния между крупнейшими сверхскоплениями галактик (находящимися в узлах ячеистой структуры) могут быть в несколько раз больше. В еще больших масштабах светящаяся материя в виде галактик и их скоплений распределена примерно однородно. Такова общая величественная картина распределения в пространстве звездных островов — галактик.

Как можно определить усредненную по столь большим масштабам среднюю плотность вещества?

Если вся материя действительно сосредоточена в светящихся галактиках, то для этого надо подсчитать общее их число в достаточно большом объеме, затем определить массу средней галактики. Помножив эти числа друг на друга, мы получим полную массу вещества в данном объеме, а поделив ее на этот объем, получим интересующую нас среднюю плотность.

Надежное определение усредненной по большим объемам плотности вещества, входящего в галактики, было сделано около 30 лет назад голландским астрономом Я. Оортом. Среднее значение плотности, полученное им, примерно в тридцать раз меньше критического. Многочисленные работы в этом направлении, проделанные с тех пор, подтвердили его результат.

Если во Вселенной нет заметных количеств материи между галактиками, которая почему-либо не видна, то она всегда будет расширяться. Однако, как было уже сказано, есть основания считать, что наблюдаемые нами галактики еще далеко не все, что имеется во Вселенной. Более того, невидимая масса, вероятно, составляет основную ее часть.

Таким образом, весьма возможно, что непосредственно наблюдаемые в телескопы великолепные узоры гигантских галактических миров — это лишь жалкая малая видимая часть истинной невидимой структуры мира. Как возникли подозрения о существовании «скрытой массы»?

Важнейшие наблюдательные данные об этом сводятся к следующему. Астрономы изучают движения спутников отдельных галактик (ими являются маленькие галактики), или движения газовых облаков. Эти объекты часто движутся на расстояниях далеко за видимой границей галактики (очерченной совокупностью светящихся звезд), где, казалось бы, никакой материи в заметных количествах уже нет. Тем не менее вычисленная по этим наблюдениям масса той или иной галактики, вокруг которой наблюдались такие движения, оказывалась иногда раз в десять больше, чем определенная по движению звезд на видимой границе галактики. Это значит, что вокруг видимого тела галактики имеется какая-то невидимая «корона», содержащая огромные массы. Тяготение этих масс никак не сказывается на движении звезд глубоко внутри короны на краю видимой галактики, но эти массы влияют своим тяготением на движение тел на окраинах короны и вне ее.



Еще большие «скрытые массы» имеются в межгалактическом пространстве в скоплениях галактик. В таких скоплениях галактики движутся хаотически. Поэтому астрофизики сначала измеряют скорости отдельных галактик, затем вычисляют полную массу скопления, создающую общее поле тяготения, которое разгоняет движущиеся в нем галактики. Чем больше наблюдаемые скорости, тем больше должна быть масса. Разумеется, эта масса включает все вещество — и видимое, и невидимое. И вот оказывается, что иногда полная масса во многие десятки раз превышает суммарную светящуюся массу всех галактик в скоплении.

Ясно, что существование «скрытой массы» кардинально меняет нашу оценку общей усредненной плотности всех масс Вселенной. Если учет только видимого вещества давал три процента от критической плотности, то учет скрытой массы в скоплениях повышает это отношение до 50 процентов. Возможно, что есть «скрытая масса» и между скоплениями галактик. Ее обнаружить особенно трудно. Но если это так, то не исключено, что полная средняя плотность равна критической плотности или даже несколько больше ее.

Таким образом, пока нельзя сказать, больше ли истинная плотность всех видов вещества во Вселенной, чем критическая, или нет. Значит, мы пока не можем сказать определенно, будет ли Вселенная расширяться неограниченно долго или же в будущем она начнет сжиматься. Но если когда-нибудь расширение и сменится сжатием, то очень не скоро — не раньше многих десятков миллиардов лет.

Что представляет собой скрытая масса? Надо прямо сказать, что физическая природа ее пока не ясна. Частично она может быть обусловлена огромным числом слабо светящихся и поэтому практически невидимых издали звезд или других несветящихся небесных тел.

Однако вероятнее, что скрытая масса является своеобразным реликтом тех физических процессов, которые протекали в первые мгновения расширения Вселенной. Скрытая масса, возможно, является совокупностью большого числа элементарных частиц, обладающих массой и слабо взаимодействующих с обычным веществом. Теория предсказывает существование таких частиц. Ими могут быть, например, нейтрино, если они обладают массой покоя, о чем пока мы не знаем.

Что произойдет во Вселенной в будущем? Ответ

зависит от того, будет ли неограниченно происходить расширение Вселенной. Предположим, что плотность материи во Вселенной не превосходит критическую, расширение продолжается вечно, и посмотрим, что тогда произойдет.

Конечно, в отдаленном будущем Вселенная изменится качественно. Она совсем не будет походить на сегодняшнюю Вселенную точно так же, как эта последняя совсем не похожа на Вселенную первых мгновений после ее зарождения.

В будущей Вселенной звезды погаснут. Источником энергии, поддерживающим их свечение, являются ядерные процессы в их недрах. Но так как запасы ядерной энергии в звездах ограничены, то рано или поздно они исчерпаются. Известно, что полная продолжительность жизни нашего Солнца исчисляется 10 миллиардами лет. Более массивные звезды живут еще интенсивнее, быстрее и в конце своей эволюции взрываются. Часть их превращается после смерти в черные дыры, другие становятся очень плотными белыми карликами или сверхплотными нейтронными звездами. Плотные звезды будут остывать и превратятся со временем в совсем холодные небесные тела.

В современной Вселенной из разреженного газа рождаются новые звезды, но запасы газа также рано или поздно исчерпаются, и в будущем процесс образования звезд прекратится. Знакомый нам космолог Дж. Леметр писал: «Эволюцию мира можно сравнить со зрелищем фейерверка, который мы застали в момент, когда он уже кончается: несколько красных угольков, пепел и дым. Стоя на остывшем пепле, мы видим медленно угасающие солнца и пытаемся воскресить исчезнувшее великолепие начала миров».

Примерно через сто тысяч миллиардов лет погаснут самые последние звезды.

Что будет в совсем отдаленном будущем с холодными плотными небесными телами — остатками погасших звезд — и с крайне разреженным газом между ними?

Для их судьбы определяющим является медленный процесс распада вещества Вселенной, предсказываемый современной физикой. Оказывается, все вещество, из которого состоят звезды, планеты и мы с вами, не вечно, и в отдаленном будущем оно исчезнет. Рассмотрим, как это произойдет.

Мы хорошо знаем о возможности взаимного превра-

щения элементарных частиц. Так, например, протон, сталкиваясь с электроном большой энергии, может превратиться в нейтрон с испусканием нейтрино. Свободный нейтрон распадается, превращаясь в протон с испусканием электрона и антинейтрино. Частицы здесь превращаются друг в друга, и рождаются новые частицы.

Но во всех этих и других реакциях, в которых участвуют частицы, состоящие из кварков, сохраняется барионное число. При превращении, например, протона в нейтрон *u*-кварк превращается в *d*-кварк. В реакции распада нейтрона происходит обратное изменение. Сами кварки при этом никуда не деваются, барионное число сохраняется. Таким образом, во всех известных до сих пор реакциях выполняется закон сохранения барионного числа.

Этот закон обеспечивает стабильность вещества Вселенной. Из-за закона сохранения барионного числа протон не распадается на более легкие частицы, например, на позитрон и световые кванты. Но тут читатель может задать вопрос: «Почему, собственно, протон должен вообще иметь тенденцию распадаться на более легкие частицы? Если протон состоит из каких-то частей (кварков), накрепко связанных цветовыми силами в единую систему, то с чего вдруг могут возникнуть какие-то причины его распада?»

Дело в том, что тенденция к распаду частиц на более легкие с выделением энергии отражает всеобщий закон природы: система стремится прийти в состояние с минимумом энергии, выделив при этом избыток имеющейся энергии.

Иллюстрацией этого закона могут служить следующие простые примеры. Пусть мы сжали пружину (сообщили ей энергию) и закрепили ее защелкой. Пружина стремится распрямиться, выделить сообщенную ей при сжатии энергию, прийти в состояние с минимумом энергии. Если защелку открыть или если она ненадежная и сама случайно «сработает», то так и произойдет. Другой пример. Тяжелый камень находится в небольшой впадине на вершине холма. Если его подтолкнуть, сообщив ему сравнительно небольшую энергию, способную поднять его на край впадины, то дальше он уже сам скатится вниз по внешнему склону холма, выделив в конце пути куда большую энергию, чем получил при

первоначальном толчке, и придет в состояние с минимумом энергии у подножия холма.

Таким образом, у системы, обладающей запасом энергии (как говорят, возбужденной системы), всегда есть «желание» от нее избавиться, прийти в наименьшее энергетическое состояние. Как говорят физики, ей это «энергетически выгодно». Для пребывания в возбужденном энергетическом состоянии надо, чтобы была какая-то причина, мешающая системе освободиться от избытка энергии (защелка или впадина в приведенных выше примерах).

Теперь вспомним, что энергии всегда соответствует масса. Значит, возбужденное состояние всегда более массивно, чем невозбужденное. Теперь уже нетрудно понять, что если элементарная частица в принципе может распасться на более легкие, сумма масс которых меньше исходной частицы, то это означает, что при распаде выделилась энергия, эквивалентная разности масс исходной частицы и сумме масс, возникающих при распаде частиц. То есть такой распад энергетически для частицы выгоден.

Чтобы он не происходил сам собой, должна быть какая-то причина, ему препятствующая, или, на языке физиков, какой-то запрет. В случае протона препятствием превращения его в позитрон (который гораздо легче протона) с выделением энергии в виде световых квантов является закон сохранения барионного числа. Отметим, кстати, что распад свободного нейтрона происходит сам собой, так как масса нейтрона больше суммы масс возникающих частиц и этот процесс энергетически выгоден.

Сделаем еще одно пояснение. Почему мы говорим, что протон, если распадается, то не превращается целиком в кванты света, а обязательно остается еще и позитрон? Дело в том, что протон электрически заряжен, а электрический заряд не может исчезнуть — это строго сохраняющаяся величина, определяющая электрическое поле на большом от него расстоянии. Поэтому при распаде протона обязательно должна возникнуть положительно заряженная частица, наследующая его электрический заряд. Позитрон и является наилегчайшей положительно заряженной частицей.

Теперь читатель уже, наверное, сам может сделать вывод, что позитроны (так же, как и электроны) должны быть стабильны, они никогда не распадутся, ибо

более легких заряженных частиц не существует, а электрический заряд исчезнуть не может.

Помимо протона, неограниченно долго (как считалось) могут существовать и другие стабильные атомные ядра, такие, как, скажем, ядра гелия или железа. Нейтроны, входящие в состав этих ядер, столь же стабильны, как и протоны, в отличие от свободных нейтронов, которые распадаются за 15 минут, превращаясь в протоны.

В разделе «Великое объединение» мы узнали, что существуют частицы — переносчики универсальной силы ( $X$ - и  $Y$ -частицы), обмен которыми ведет к нарушению закона сохранения барионного числа, и кварки при этом могут исчезать, превращаясь в лептоны. Правда, эти  $X$ - и  $Y$ -частицы могут рождаться только при очень больших энергиях, недостижимых ни в каких реальных процессах в сегодняшней Вселенной. Однако  $X$ - и  $Y$ -частицы могут, хотя и на очень короткий промежуток времени, рождаться в виртуальных процессах. На рис. 12 показана схема превращения, которое может произойти в протоне, состоящем из двух  $u$ -кварков и одного  $d$ -кварка из-за рождения виртуального  $X$ -бозона. Два  $u$ -кварка с помощью виртуального  $X$ -бозона превращаются в антилептон (позитрон) и антикварк  $d$ . Этот антикварк объединяется вместе с  $d$ -кварком в систему  $\pi^0$ -мезон. Последняя частица затем распадается на световые кванты.

Таким образом, в результате этого процесса протон превратился в позитрон и световые кванты. Но ни позитрон, ни световые кванты не обладают барионным числом. Барионное число исчезло, протон распался! «Защелкой», мешающей произойти энергетически выгодному процессу, здесь являлась очень большая масса  $X$ -бозона. Но эта «защелка» не абсолютно надежна. Иногда она «ломается», и происходит распад.

К счастью, такие распады протона чрезвычайно редки, иначе бы все вещество Вселенной давно бы распалось. Редкость данного процесса обусловлена тем, что очень мала вероятность обмена внутри протона сверхтяжелым виртуальным бозоном. В простейших вариантах теории Великого объединения среднее время жизни протона оценивалось в десять тысяч миллиардов миллиардов миллиардов лет! Но существуют варианты теории, которые приводят к продолжительности жизни протона в тысячу раз большей. Это фантастически боль-

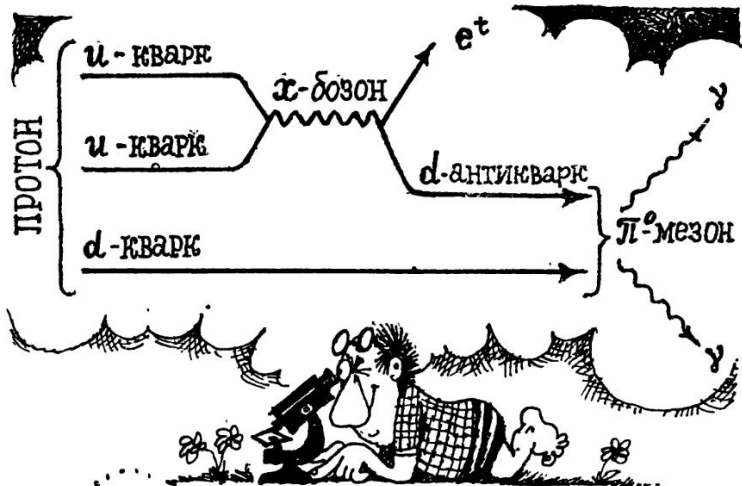


Рис. 12

шие сроки. Напомним, что с момента начала расширения Вселенной до наших дней прошло «всего» около десяти миллиардов лет.

Можно ли каким-либо способом зарегистрировать этот редчайший процесс и тем самым подтвердить правильность теории? Да, в принципе можно. Для этого надо взять очень много протонов. Вероятность распада каждого из них очень мала, но хотя бы один протон из большой совокупности распадается за приемлемое для наблюдения время. Так, если взять 10 тонн вещества, то при указанном выше времени жизни протона (десять тысяч миллиардов миллиардов миллиардов лет) за год хоть один из них да распадется.

Если бы удалось зарегистрировать такой распад, то это было бы прямым подтверждением теории Великого объединения. Конечно, зарегистрировать распад единичного протона из такой большой массы очень трудно. Эксперименты по поискам распада протона были начаты в 1979—1980 годах. Суть их заключалась в следующем. Берется большое количество какого-либо вещества, скажем, несколько тысяч тонн воды или железа. Это вещество вместе со специальными счетчиками, которые могут регистрировать частицы — продукты распада протона, — помещают под толщей грунта (например, в тоннеле под горным массивом или в глубокой

шахте). Это делается для того, чтобы защитить всю установку от действия космических лучей, создающих помехи в ее работе.

Одна из первых попыток найти распад протона была осуществлена на Баксанской подземной лаборатории Института ядерных исследований АН СССР на Кавказе. Затем были проведены наблюдения на еще более массивных установках. К настоящему времени достоверных случаев распада протона зарегистрировано не было. Это означает, что время жизни протона больше, чем было оценено в простейших вариантах теории, и должно превышать сто тысяч миллиардов миллиардов миллиардов лет. Сейчас обсуждаются проекты и строятся детекторы с массой, превышающей десятки тысяч тонн.

Подчеркнем, что описанному выше распаду за счет рождения виртуальных  $X$ - и  $Y$ -бозонов подвержены не только протоны, но также и нейтроны в стабильных атомных ядрах. Такие распады нейтронов должны происходить столь же редко, как и протонов.

Приведем еще следующий любопытный факт. Впервые нижний возможный предел жизни протона был оценен физиком Гольдхабером, который использовал в качестве массы детектора... человеческое тело, а в качестве счетчиков — здоровье человека! Он рассуждал следующим образом. Распад протонов (и нейтронов в стабильных ядрах) в теле человека порождает процессы, аналогичные радиационным, разрушающим кости.

Известно, что за время человеческой жизни (около 70 лет) эти процессы, если они и есть, то совершенно незаметны, чтобы повлиять на наше здоровье. Отсюда можно оценить максимальную дозу излучения, которую мы получаем в течение жизни из-за распада протонов, а значит, и количество распавшихся протонов за 70 лет. Зная это число, уже легко рассчитать минимально возможное время жизни протона. Оказывается, что протон должен жить в среднем не менее десяти миллионов миллиардов лет. Конечно, эта оценка много грубее приведенных выше, но зато она и получена совершенно элементарным путем.

Итак, пока распад протона не обнаружен экспериментально и продолжаются упорные поиски этого процесса, требующие, помимо всего прочего, огромных материальных затрат для строительства гигантских под-







## ПОЧЕМУ ВРЕМЯ ТЕЧЕТ И ПОЧЕМУ В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ!

Современная наука раскрыла связь времени с физическими процессами, позволила «прощупать» первые звенья цепи времени в прошлом и проследить за ее свойствами в далеком будущем.

А что же говорит современная наука о том, почему, собственно, время течет, и течет только от прошлого к будущему? Надо сказать сразу, что полного, ясного и признанного всеми (специалистами) ответа на этот вопрос не существует. Однако и здесь сделано немало, и с некоторыми фрагментами достижений науки о времени мы сейчас познакомимся.

В посленьютоновскую эпоху физики неоднократно подчеркивали удивительную особенность законов при-

роды: они никак не выделяют направление течения времени от прошлого к будущему.

Мы хорошо знакомы с этим обстоятельством на примере простейших механических задач. Так, например, пусть шарик катится по поверхности, ударяется о стенку под некоторым углом и, отскочив от нее, продолжает свое движение. Мы можем мысленно обратить направление течения времени и представить шарик, катящийся в обратном направлении, последовательно проходящий точки своей траектории в обратном порядке. Мы как бы засняли опыт на киноплёнку и прокрутили ее в обратном направлении. При этом будут выполняться законы механики: закон отражения шарика от стенки (угол падения равен углу отражения). Законы механики одинаково хорошо описывают движение шарика и при обычном направлении времени, и когда мы мысленно обратили его вспять.

Чуть более сложный пример. Вот планета, вращающаяся вокруг Солнца по законам, открытым Кеплером. Если изменим направление течения времени (как говорят физики, изменим знак у времени, поменяем «плюс» на «минус»), то получим планету, движущуюся по той же орбите, но в обратном направлении. Законы Кеплера будут в точности выполняться.

Таким образом, законы физики Ньютона одинаково описывают и прямое и обратное движение, совсем их не различая. Они, эти законы, не определяют направление течения времени от прошлого к будущему. Такое свойство физики называют T-симметрией или T-инвариантностью. Этим свойством обладают не только законы Ньютона, но и законы электродинамики, и законы специальной и общей теории относительности.

T-инвариантность позволяет одинаковым методом рассчитывать события и в направлении к будущему, и в направлении к прошлому. Так, например, по законам небесной механики можно рассчитать будущее движение, а значит, и будущие появления на нашем небе кометы Галлея; но с тем же успехом можно рассчитать и когда комета приближалась к Солнцу и Земле в далеком прошлом. Наблюдения подтверждают точность этих вычислений.

В XVIII и первой половине XIX века существовала уверенность, что все процессы в природе сводятся в конце концов к механическому движению и взаимодействию частиц, их притяжению и отталкиванию. В таком

случае, зная законы, управляющие этими движениями, можно в принципе любое явление рассчитать и вперед по времени, и назад сколь угодно далеко.

И прошлое, и будущее Вселенной в равной степени могут быть точно вычислены. Они полностью определяются положением и скоростями всех частиц во Вселенной, заданными в какой-то момент, — так считал основоположник небесной механики, французский астроном и математик П. Лаплас (1749—1827). Он писал: «...мы должны рассматривать настоящее состояние Вселенной как следствие ее предыдущего состояния и как причину последующего. Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, обуславливающие природу, и относительные положения всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движение величайших тел Вселенной наравне с движением легчайших атомов — не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же, как и прошлое, предстало бы перед его взором».

Справедливо заметил по поводу этого высказывания ленинградский физик А. Чернин: «Современный сторонник Лапласа мог бы, наверное, сказать, что будущее уже как бы снято на киноленту, которая — вся уже целиком готовая — просто разматывается перед нашим взором. Ее можно просматривать и вперед — к будущему, и назад — к прошлому».

Так что же получается — все законы природы не различают прошлое и будущее? Они позволяют с одинаковой свободой двигаться по времени в обоих направлениях — и к будущему, и к прошлому? Почему же время движется только в одном направлении? То, что это так, известно точно! Мы помним события прошлого. Даже отдаленные события в прошлом оставляют следы. Но мы совсем не помним будущее! Прошлое уже было, его изменить никак нельзя, а на будущее можно влиять. Мы знаем все это и из опыта науки, и из нашей повседневной жизни. Никакой симметрии в течении времени в природе нет, оно, как говорят физики, полностью анизотропно. Но в законах движения материи это никак не отражается!

Правда, здесь надо сделать одну небольшую, но существенную оговорку...

В 1964 году американские физики Дж. Кронин и

В. Фитч обнаружили процесс, который не обладает Т-инвариантностью. Иными словами, процесс этот не безразличен к направлению течения времени. За свое открытие они шестнадцать лет спустя получили Нобелевскую премию.

Американские физики установили, что распад нестабильной частицы нейтрального К-мезона происходит таким образом, что он «чувствует» направление течения времени. Может, в этом все дело? Раз есть процессы, которые не Т-инвариантны, так, возможно, они и определяют направление бега времени, а заодно и его темп?

Но вряд ли сделанное американцами открытие решает загадку времени. Несимметричные во времени процессы совершенно определенного класса очень редко происходят с экзотическими частицами. Между тем мы знаем, что направленный бег времени проявляется везде и всегда, буквально во всем, что происходит во Вселенной. Невозможно (по крайней мере сегодня) представить, как редкие и экзотические процессы могут управлять этим всеобщим направленным временным потоком. Значит, не в этих редких процессах дело. Но тогда в чем же?

Физики, подчеркивая обратимость времени в элементарных процессах, давно уже установили, что время явно необратимо в процессах сложных, которые они так и называют — необратимыми. Это было понято еще в прошлом веке. Рассмотрим такой простой пример: в сосуд с водой мы добавляем каплю чернил. Капля быстро расплывается, и через некоторое время окрашивающее вещество расходится по всему сосуду. Такой опыт может наблюдать каждый. Но никто никогда не видел, чтобы процесс шел в обратном направлении — чтобы рассеянные по всему сосуду частички чернил собрались вместе в одну каплю. Почему же этого не происходит? Ведь законы, по которым движутся и взаимодействуют молекулы воды и чернил, Т-инвариантны! Если всем частичкам воды и чернил, рассеянных в сосуде, придать в некоторый момент точно противоположно направленные скорости и исключить при этом всякие внешние воздействия, то все события в сосуде повторятся вспять по времени и чернила соберутся в каплю. Значит, такая картина возможна!

Да, в принципе это возможно, но практически никогда не происходит. Все дело в том, что собирание чернил в каплю хотя и возможное, но крайне маловероятное

событие. Прежде чем разобраться в этом, рассмотрим еще один опыт, который проделывают в школе на уроках физики.

Возьмем железный брусок, нагреем его, а затем поместим в сосуд с холодной водой. Брусок охладится, а вода в сосуде нагреется, их температура сравняется. Всегда процесс происходит именно так. Никогда не бывает, чтобы тепло от холодной воды переходило к горячему бруску и еще больше повышало его температуру.

А почему, собственно, это невозможно? Ведь переход тепла от холодного тела к горячему не нарушает закона сохранения энергии. Тепловая энергия, сохраняясь, переходит от одного тела к другому. Но всегда этот переход почему-то совершается только в одном направлении — от горячего к холодному.

Это еще один пример необратимого процесса, как и расплывания капли чернил. В этих примерах много общего. Действительно, мы знаем, что тепло — это хаотическое движение молекул. Поэтому, если у всех молекул и в воде, и в железном бруске в некоторый момент поменять скорости точно на противоположные и опять-таки исключить все внешние влияния, то процесс будет развиваться точно вспять по времени (ведь движения молекул описываются  $T$ -инвариантными законами!). Значит, тепло потечет от холодного тела к горячему. Но так никогда не бывает в реальности!

Почему же во всех подобных процессах возникает необратимость, если они складываются из движений частиц, которые явно обратимы во времени? Где и как теряется эта обратимость?

Загадка была решена еще в прошлом веке.

В 1850 году немецкий физик Р. Клаузиус и в 1851 году независимо от него английский физик У. Томсон открыли закон, известный как второе начало термодинамики. Этот закон, по существу, обобщал только что описанные нами опыты и мог формулироваться как вывод, что тепло всегда переходит от горячего тела к холодному (об опыте с чернилами мы скажем чуть позже). В формулировке У. Томсона этот закон звучит следующим образом: «В природе невозможен процесс, единственным результатом которого была бы механическая работа, совершенная за счет охлаждения теплового резервуара». Отсюда следовало, что невозможно полное превращение тепла в механическую энергию или же в другие виды энергии. Это означает, что если изолиро-

вать какую-либо систему, то в конце концов в этой системе все виды энергии перейдут в тепло, а тепло равномерно распределится по всей системе, и наступит, как говорят, термодинамическое равновесие.

На практике мы прекрасно знаем проявление этого закона. Трение, например, в механических системах сопровождается переходом механической энергии в тепло. В тепловых машинах мы можем, правда, наоборот, переводить тепловую энергию в механическую работу, но для этого обязательно надо поддерживать разницу в температуре нагревателя и холодильника машины, иначе она работать не будет. На это надо затрачивать энергию, и часть ее при этом также переходит в тепло. Его возникает в таком процессе больше, чем обратного превращения тепла в механическую работу в тепловой машине. Так происходит непрерывное накопление тепла, в которое переходят все виды энергии. Позже Р. Клаузиус дал математическое выражение второго начала термодинамики.

Термодинамические идеи Р. Клаузиуса и У. Томсона были развиты австрийским физиком Л. Больцманом. Он показал, в чем заключается смысл второго начала термодинамики. Тепло является, по существу, хаотическим движением атомов или молекул, составляющих материальные тела. Поэтому переход энергии механического движения отдельных частей системы в тепло означает переход организованного движения крупных частей системы в хаотическое движение мельчайших частиц, то есть означает, что увеличение беспорядка неизбежно в силу случайности движения частиц, если только на систему не влиять извне, не способствовать сохранению порядка.

Л. Больцман показал, что мерой беспорядка в системе является величина, введенная еще Р. Клаузиусом, — энтропия. Чем больше хаос, тем больше энтропия. Переход отдельных видов движения материи в тепло означает рост энтропии. Когда все виды энергии перешли в тепло, а тепло равномерно распределилось по системе, то это состояние максимального хаоса уже не меняется с течением времени и соответствует максимуму энтропии.

Так вот в чем дело! В сложной системе из многих частиц или других элементов в силу случайности многих взаимодействий неизбежно нарастает беспорядок, как иногда говорят — нарастает «хаос». Энтропия и есть

численное выражение меры беспорядка. Конечно, рост беспорядка происходит в том случае, если не принимаются специальные меры по поддержанию порядка. Но тогда за системой надо следить, надо вмешиваться в процесс извне. Поэтому, разбирая примеры, мы специально оговаривали отсутствие таких внешних воздействий.

В случае с горячим бруском и холодной водой гораздо более вероятно, что молекулы горячего бруска, обладая большей энергией, будут отдавать ее при взаимодействии с менее энергичными молекулами воды. Когда температура выравнивается во всем объеме, это, очевидно, соответствует большему беспорядку, чем упорядоченное сосредоточение энергичных «горячих» молекул в одном месте и менее энергичных «холодных» в другом. Именно поэтому процессы, текущие в природе, всегда выравнивают температуру. Как уже отмечено, это соответствует переходу в состояние наибольшего беспорядка.

То же надо сказать и об опыте с чернилами. При случайных взаимодействиях гораздо вероятнее, что молекулы чернил рассеются по всему сосуду, чем то, что они направленно станут собираться в каплю. Равномерное распределение чернил по сосуду с водой отвечает наибольшему беспорядку.

Таким образом, вероятностные законы статистики при случайных взаимодействиях определяют направление необратимых процессов.

Если процесс начинается с какого-то хотя бы частично упорядоченного состояния, то сам по себе, без внешних воздействий он развивается в сторону беспорядка.

Если мы хотим навести порядок в системе, то должны на нее извне воздействовать. Например, мы можем заставить течь тепло от холодного тела к горячему. Так работают домашние холодильники. В них тепло из холодильной камеры с пониженной температурой «перекачивается» во внешнюю атмосферу, температура которой выше, чем температура камеры. Но для этого должен работать мотор холодильника, должна затрачиваться энергия.

Очень важно, что, создавая более упорядоченное состояние в какой-либо системе, влияя при этом на нее извне из еще большей системы, мы совершенно обязательно вносим дополнительный беспорядок в эту большую систему. Так при «перекачке» тепла из холодильника в атмосферу работающий мотор выделяет допол-

нительное тепло и еще больше нагревает атмосферу, увеличивая «хаос» движения молекул в ней. Законы термодинамики гласят, что «хаос», внесенный в большую систему, обязательно превышает «порядок», устанавливаемый в меньшей системе. Так что в целом в мире «хаос», энтропия должны только нарастать, несмотря на то, что в отдельных его частях может устанавливаться порядок.

У. Томсон и Р. Клаузиус поняли, какое важнейшее значение имеет открытый ими закон термодинамики для эволюции всей Вселенной. Действительно, для всего мира обмен энергией с какими-то «другими системами» невозможен, то есть Вселенная должна рассматриваться как изолированная система. Значит, во Вселенной все виды энергии должны перейти в конце концов в тепло, а тепло должно равномерно распределиться по веществу, после чего все макроскопические движения прекратятся. Хотя закон сохранения энергии при этом не нарушается, энергия никуда не исчезает и остается в виде теплоты, но она оказывается «бессильной», лишенной возможности превращения, возможности совершать работу движения. Такое мрачное состояние получило название «тепловой смерти» Вселенной. Читатель, наверное, согласится, что такое название очень точно характеризует саму суть состояния.

Мы теперь знаем, что буквально в том виде, как это делали У. Томсон и Р. Клаузиус, выводы о тепловой смерти ко Вселенной неприменимы. Дело в том, что Вселенная нестационарна, она взорвалась в прошлом, и, кроме того, в процессах, происходящих в космосе, существенно тяготение. Все это не могло быть тогда учтено основоположниками термодинамики. Как конкретно развивается Вселенная, мы уже рассказали. Сейчас происходят бурные процессы рождения и эволюции миров. Однако надо подчеркнуть, что вывод о постоянном росте энтропии во Вселенной правилен.

Итак, во Вселенной идет необратимый процесс роста энтропии. Не он ли определяет направление бега времени? Безусловно, как общая тенденция для всей Вселенной рассмотрение необратимых процессов должно иметь отношение к бегу реки времени. Но давайте вспомним, что «бег времени» проявляется в любых процессах, даже самых элементарных. И во всех таких процессах, происходящих далеко друг от друга, он протекает, насколько мы знаем, согласованно в одну сторону. Откуда



такое согласование? Сказывается ли на них как-то общий рост энтропии всей Вселенной? Может быть, иказывается, но каким образом — мы об этом пока ничего не знаем.

Когда задумываешься над тем, какое глобальное явление природы может определить направленный бег времени, то невольно приходит мысль о расширении Вселенной.

Может быть, направление времени совпадает с направлением процесса увеличения расстояний между галактиками в ходе расширения Вселенной? Такую идею высказал английский ученый Ф. Хойл.

Для обозначения направления течения времени А. Эддингтон придумал даже специальное название — «стрела времени». По мнению А. Эддингтона, Ф. Хойла и некоторых других «стрела времени» существует, потому что Вселенная расширяется. Если в будущем расширение сменится сжатием, то, по мнению этих ученых, изменится и направление «стрелы времени».

Такую гипотезу можно было бы обсуждать, если бы расширение Вселенной, разбегание галактик как-то сказывалось в каждом месте, в каждой точке пространства. Например, если при этом было бы всеобщее растяжение всех тел, всех длин, если бы с расширением Вселенной увеличивались бы размеры звезд и планет, размеры наших тел и атомов с их ядрами и так далее. Но ничего подобного нет.

В сегодняшней Вселенной удаление друг от друга далеких галактик никак не влияет на процессы в звездах, на их размеры, на размеры других небесных тел или атомов вещества. А раз нет физического влияния, то непонятно, как разбегание галактик может определять течение времени в процессах, происходящих, например, на планетах или в реакциях элементарных частиц. Против возможности определения «стрелы времени» расширением Вселенной решительно возражал Я. Зельдович.

В нашей монографии «Строение и эволюция Вселенной», написанной с Я. Зельдовичем, приводится такой пример.

«Представьте себе ракету, запущенную со скоростью меньше второй космической... Такая ракета сперва поднимается, удаляется от Земли, затем, достигнув определенной максимальной высоты, она начинает падать.

Ясно, что на этой высоте не происходит перестройка каких-либо физических законов в ракете: в частности,

монотонно идут часы, помещенные на ракете. Переход от расширения к сжатию в закрытой Вселенной полностью аналогичен переходу от подъема к опусканию ракеты. Поэтому совершенно ясно, что в момент максимального расширения Вселенной «стрела времени» не меняет направления. Если бы она сменила направление, то в сжимающейся Вселенной лучи света, например, вместо того, чтобы излучаться звездами и уходить в мировое пространство, входили бы в звезды и т. д. Это явно бессмысленно... после смены расширения сжатием еще очень долго плотность излучения во Вселенной будет мала, звезды будут излучать свет, и все локальные процессы во Вселенной будут продолжать течь в том же направлении.

Связь «стрелы времени» с расширением есть (очень важное, разумеется) свойство нашей Вселенной в настоящее время, но эта связь не может быть использована как определение «стрелы времени» для определения понятия будущего.

Приведенные соображения весьма элементарны. Единственным извинением того, что мы их здесь приводим, является настойчивое повторение ошибочных взглядов в литературе».

Есть в природе еще один род специфических процессов, который явно «чувствует», что время течет только в одном направлении. Это психологические процессы, благодаря которым мы ощущаем, что время течет от прошлого к будущему. Направленность такой «психологической стрелы времени» определяется тем, что мы помним прошлое и не помним будущего.

Итак, мы познакомились с тремя видами явлений в природе, которые явно несимметричны во времени и протекают однонаправленно по крайней мере в сегодняшней Вселенной.

Первый класс явлений — это термодинамические процессы. Они протекают в направлении увеличения беспорядка и роста энтропии. Такие процессы определяют «термодинамическую стрелу времени».

Второе явление — это расширение нашей Вселенной: оно определяет «космологическую стрелу времени».

Третий класс явлений — это наши психологические процессы, дающие субъективное ощущение течения времени. Наша память прошлого и незнание будущего определяют «психологическую стрелу времени».

Загадкой является тот факт, что все три «стрелы»

направлены в сегодняшней Вселенной в одну сторону.

С. Хоукинг в недавно вышедшей книге «Краткая история времени» обсудил эту проблему, и мы приведем здесь некоторые его соображения.

Начнем с «термодинамической стрелы времени». Мы уже знаем, что она всегда указывает в направлении увеличения беспорядка, ибо путей к увеличению беспорядка всегда несравненно больше, чем ведущих к упорядочению. Поэтому с гораздо большей вероятностью увеличивается «хаос», чем наступает порядок. Покажем, что «психологическая стрела времени» должна совпадать с «термодинамической стрелой времени».

Для этого посмотрим, как наш мозг или упрощенная его модель-компьютер запоминает информацию. Компьютер несравненно проще, чем человеческий мозг, поэтому мы обратимся к работе его запоминающего устройства. Это устройство состоит из большого количества элементов, которые могут находиться в двух состояниях. Для наглядности можно представить себе подобие счетов с горизонтальными проволочками, и на каждой из них по бусинке. Бусинки могут находиться только в двух положениях: либо сдвинутыми влево до отказа, либо вправо. Как известно, любое сообщение, любую информацию можно записать последовательностью нулей и единиц. Условимся, что ноль соответствует бусинке, сдвинутой влево, а единица — бусинке, сдвинутой вправо. Теперь понятно, что любую информацию можно зафиксировать на наших достаточно длинных «счетах», сдвинув в нужные положения (влево или вправо) бусинки на последовательности проволочек. В таком виде информация может храниться, это и есть «запоминающее устройство». Конечно, в реальных компьютерах, а тем более в мозгу, «технически» все устроено иначе, но основной принцип тот же, а нам только это сейчас и важно.

Чтобы зафиксировать в «памяти» некоторую информацию, необходимо передвинуть нужным образом бусинки на проволочках и убедиться, что они поставлены в правильное положение. А для этого надо затратить энергию, которая в итоге выделится в виде тепла (в электронном компьютере оно выделяется и при работе, и при его охлаждении). Выделенное при «запоминании» тепло, нагревая окружающую среду, увеличивает «хаос» (энтропию) Вселенной. И он всегда больше того порядка, который вносится в запоминающее устройство

при записи информации. С. Хоукинг приводит такой подсчет. Если вы запомнили каждое слово в книге, подобной этой, то ваша память записала около двух миллионов единиц информации. На столько единиц увеличится порядок в вашем мозгу. Но во время чтения книги вы переработали по крайней мере тысячу калорий упорядоченной энергии в виде пищи в неупорядоченную в виде тепла, которое выделяется в атмосферу. Это увеличит беспорядок Вселенной примерно на двадцать миллионов миллионов миллионов миллионов единиц информации. Это в десять миллионов миллионов миллионов раз превышает возрастание порядка в мозгу, да и то если вы запомнили все в этой книге...

Таким образом, в итоге получается, что при запоминании беспорядок во Вселенной всегда только возрастает, хотя в маленьком уголке Вселенной (в запоминающем устройстве, на «счетах», в компьютере или в человеческом мозгу) — при этом устанавливается порядок. Последовательность процесса, в котором происходит запоминание, совпадает с последовательностью, в котором возрастает хаос во Вселенной.

«Направление времени, — пишет С. Хоукинг, — в котором компьютер запоминает прошлое, совпадает с направлением, в котором возрастает беспорядок.

Наше субъективное восприятие направления времени определяется, следовательно, в нашем мозгу «термодинамической стрелой времени». Точно так же, как компьютер, мы должны запоминать вещи в той же последовательности, в которой возрастает энтропия. Это делает второй закон термодинамики совершенно тривиальным. Беспорядок возрастает со временем, потому что мы измеряем время в направлении, в котором возрастает беспорядок. Вы не можете иметь утверждение более беспримысленное, чем это!»

Чтобы сделать свои рассуждения еще очевиднее, С. Хоукинг рисует следующую фантастическую картину.

«Предположим, однако, что Бог решил, что Вселенная должна закончить существование в состоянии высокого порядка, и совершенно безразлично, с какого состояния она начинала эволюционировать. Это означало бы, что беспорядок уменьшался бы со временем. Вы могли бы видеть разбитые чашки, собирающиеся из осколков и вспрыгивающие обратно на стол. Однако любые человеческие существа, которые наблюдали бы чашки, жили бы во Вселенной, в которой беспорядок

уменьшается со временем... Такие существа имели бы «психологическую стрелу времени», направленную вспять. Это означает, что они помнили бы события будущего и не помнили бы события в их прошлом. В момент, когда чашка разбита, они помнили бы ее стоящей на столе, но в момент, когда она была на столе, они не помнили бы ее находящейся на полу.

Итак, «психологическая» и «термодинамическая» стрелы времени должны совпадать.

Но почему вообще существует «термодинамическая стрела времени»? Иными словами, почему в прошлом был порядок и в будущее наша Вселенная развивается к большему беспорядку? Если бы с самого начала во Вселенной был полный беспорядок, то это и было бы состояние «тепловой смерти», и Вселенная вечно пребывала бы в таком состоянии, нарушаемом лишь случайными флуктуациями. При всеобщем беспорядке не было бы никакой «термодинамической стрелы времени».

Наша Вселенная явно не такова. Что можно сказать о степени упорядоченности Вселенной в момент ее рождения? В сингулярном состоянии должны в полном объеме проявляться квантовые свойства материи и пространства-времени. Значит, состояние это целиком определяется квантовыми свойствами. Каково же квантовое состояние нашей Вселенной в момент рождения?

Многие специалисты с разных точек зрения высказывали гипотезу о том, что это состояние должно быть максимально упорядочено. Об этом говорили Я. Зельдович и Л. Грищук, такую гипотезу выдвинул С. Хоукинг, в пользу этого предположения приведены соображения в нашей совместной работе с Д. Компанейцем и В. Лукашем.

Очень интересен и оригинален подход С. Хоукинга к изучению этой проблемы. Формулы теории очень удобно записать, используя не обычное время, а так называемое «мнимое время». Мнимое время получается из обычного умножением на мнимую единицу — корень квадратный из минус единицы. Во все уравнения, записанные с мнимым временем, это мнимое время входит точно так же, как пространственные координаты. Временное направление в пространстве-времени теперь не отличается от пространственных направлений по своим свойствам. Начертим мысленно линии — направления мнимого времени в четырехмерном пространстве-времени вблизи сингулярности, то есть вблизи начала суще-



Рис. 13

ствования нашей Вселенной. Эти направления выглядят подобно меридианам на земном глобусе, сходящимся к Южному полюсу. Пространственные направления изображаются дугами параллелей. Только параллели на земном глобусе имеют одно измерение, а пространственные направления во Вселенной трехмерны. Но это отличие сейчас не столь важно для наглядного изображения.

Если Вселенная имеет замкнутое пространство и начинает расширяться от сингулярности, то на нашей картинке это выглядит следующим образом. Сингулярность соответствует Южному полюсу. Длины кругов-параллелей изображают размер замкнутой Вселенной. Расстояние по меридианам от Южного полюса соответствует мнимому времени, протекшему с начала расширения. В Южном полюсе — в сингулярности — Вселенная начиналась с нулевого размера; затем она все больше расширялась — длина параллелей увеличивалась с удалением от Южного полюса, наконец достигла экватора, что соответствует максимуму расширения, а потом начала сжиматься. Но нас сейчас интересует область вблизи Южного полюса.

В этой точке, вообще говоря, может быть какая-то особенность на поверхности, например, острый пик — горка, но поверхность может быть и совершенно ровная.

ничем не отличаться от других точек на глобусе. С. Хоукинг предположил, что в случае нашей Вселенной именно такая гладкость и имеет место. Иными словами он предположил, что Южный полюс — сингулярность нашей Вселенной, изображенный с использованием многого времени, ничем в пространстве-времени не выделяется от соседних мест.

Тогда начальное состояние Вселенной должно быть максимально гладким — упорядоченным. Хотя в этом состоянии пространственные размеры Вселенной (длины параллелей) равны нулю, но тем не менее эта точка ничуть не более особенна, чем Южный полюс на нашей планете. Мы эту сингулярность можем мысленно «проходить» на картинке с мнимым временем, никак не отличая ее от других точек, точно так же, как можем пересекать в путешествии Южный полюс Земли, ничего особенного не испытывая.

Но теперь давайте обратим внимание на следующее. Если мы находимся в нашей картинке в стороне от Южного полюса, то легко различаем, в каком направлении лежит сингулярность — полюс. Это направление к югу. В этом направлении «на юг» находится прошлое — начало расширения Вселенной. В направлении «на север» находится будущее — дальнейшее увеличение размеров Вселенной. Но давайте теперь станем на самый Южный полюс — сингулярность. Эта точка ничем не выделяется, здесь такая же гладкая поверхность, как и рядом, но отсюда расходятся меридианы. Из Южного полюса нельзя двигаться «на юг» — в прошлое. Все пути ведут только на север — в будущее.

Вопрос о том, что было раньше сингулярности в этой картинке, становится бессмысленным. Ибо понятия «раньше» в этой точке — полюсе — не существует. Это все равно, что спросить, что находится южнее Южного полюса. Подобный вопрос явно бессмыслен. Этот пример демонстрирует ситуацию, когда время конечно и никакого бесконечно далекого прошлого нет, но нет и начала времени, нет какого-то его «края».

Давайте теперь вернемся к вопросу о направлении стрелы времени в нашей Вселенной вдали от сингулярности.

Согласно гипотезе С. Хоукинга и гипотезам других авторов начальная сингулярность должна быть гладкой. Но это начальное состояние не может быть совершенно упорядоченным, так как тогда оно противоречило бы со-

отношению неопределенностей квантовой механики (мы говорили об этом соотношении в главе «Путешествие в необычные глубины»). Следовательно, должны быть хотя бы небольшие отклонения от совершенного порядка, небольшие флуктуации, обусловленные соотношением неопределенностей. В начале жизни Вселенной неоднородности эти малые, но через миллиарды лет они развиваются в галактики, формируя крупномасштабную структуру. А почти полный порядок переходит во все больший и больший беспорядок, что и определяет «термодинамическую стрелу времени».

После появления разумных существ, по истечении миллиардов лет, «психологическая стрела времени», как мы знаем, совпадает с «термодинамической стрелой».

Ну а как быть с третьей стрелой времени — «космологической», определяемой направлением расширения Вселенной, увеличением ее размеров?

В наше время направление этой стрелы совпадает с направлением двух упомянутых. Но возможно, что так будет не всегда. Если плотность материи во Вселенной превышает критическое значение, то в будущем наступит момент, когда расширение сменится сжатием. В этот момент сменит свое направление и «космологическая стрела времени», а две остальные по-прежнему будут указывать то же направление. И между тремя стрелами времени возникнет рассогласование.

С. Хоукинг первоначально предполагал, что в момент поворота «космологической стрелы времени» также поменяют ориентацию и две другие стрелы, так что согласование остается. Но в конце концов ему пришлось изменить свое мнение и признать, что никакого изменения «термодинамической» и «психологической» стрел времени происходить не будет.

«Как следует поступить, если вы сделали ошибку, подобную этой?» — спрашивал он и отвечал: «Некоторые люди никогда не допускают, что они ошиблись, и продолжают находить новые, часто взаимно несогласующиеся, аргументы в поддержку своего мнения — так делал Эддингтон, выступая против теории черных дыр. Другие прежде всего провозглашают, что они никогда в действительности не поддерживали ошибочную точку зрения, или же если и поступали так, то это делалось только для того, чтобы показать, что такая точка зрения противоречива. Мне кажется, что гораздо лучше и



менее унизительно для себя будет, если вы печатно признаете, что были не правы. Хороший пример этого дал Эйнштейн, когда назвал космологическую константу, которую он ввел, пытаясь построить эстетическую модель Вселенной, крупнейшей ошибкой своей жизни».

К этому можно добавить еще следующее. Когда Эйнштейн понял, что его возражения против теории Фридмана ошибочны, он специально опубликовал статью, в которой без всяких оговорок признал, что ошибался, что Фридман прав и работа Фридмана открывает новые горизонты в науке.

Но есть и другая сторона обнаружения допущенной ошибки. Ведь если ты сам или кто-то другой разобрался в физическом процессе и обнаружил допущенный тобой промах, то это тоже творческий процесс, вскрывающий стороны явления, которые по крайней мере тебе не были известны или были неясны. Этому настоящие ученые радуются, а не высказывают досаду (хотя, конечно, абсолютно однозначных, так сказать, «чистых» чувств не бывает и радость может сплетаться со следами досады на себя и с другими ощущениями, но в любой реакции есть главный лейтмотив). Советский физик В. Гинзбург рассказывал, что, разбирая процессы так называемого переходного излучения, он решил, будто открыл возможность создания специального счетчика частиц. Однако затем понял, что ошибся, и так написал об этом: «Допущенная ошибка оказалась довольно интересной, и ее понимание доставило почти такое же (впрочем, весьма скромное) удовольствие, как и «изобретение» самого счетчика».

Вернемся снова к направлениям стрел времени. Спрашивается, почему мы живем все же в такую эпоху, когда все они согласованно смотрят в одном направлении, если в будущем возможна эпоха, когда наступит рассогласование?

Ответ может оказаться связанным с антропным принципом. Дело в том, что разумная жизнь в нашей Вселенной могла зародиться не во все эпохи ее эволюции. Она не могла возникнуть в далеком прошлом, когда не было ни планет, ни звезд, а температура была крайне высока. По-видимому, известные нам формы жизни не могут зародиться и в далеком будущем, когда погаснут звезды или вообще распадется все вещество. Вселенная в будущем, когда начнет сжиматься, будет совсем не похожа на сегодняшнюю. По-видимому,

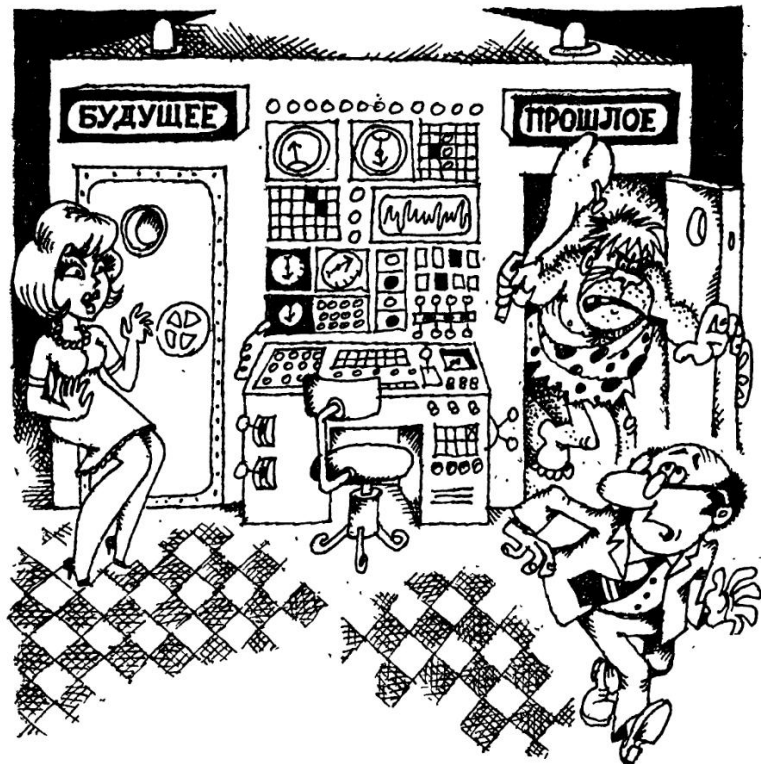
в тех условиях, если какие-то формы разумной жизни и будут возможны (а я в это верю), то они будут очень сильно развитые и изменившиеся, совсем непохожие на сегодняшнюю. Следует учесть, что наша цивилизация очень молода и жизнь в известной нам форме могла зародиться только на планете, согреваемой звездой типа нашего Солнца. Необходимо еще учесть, что существование таких звезд и планет возможно только на стадии расширения Вселенной, когда есть запас ядерной энергии в веществе, из которого формируются звезды. Теперь ясен становится ответ.

Мы, как молодая цивилизация, можем существовать только на стадии расширения Вселенной, когда все три стрелы времени совпадают.

\* \*  
\*

Приведенные в этой главе соображения в значительной степени представляют «смесь», в которую входят и надежно установленные факты, и гипотезы, требующие проверки, и смутные догадки.

Еще раз повторим, что завеса над природой времени и его удивительными свойствами только начинает открываться.



## ПРОТИВ ТЕЧЕНИЯ

Общая теория относительности была создана А. Эйнштейном на основе минимального числа опытных данных о тяготении, с гениальной интуицией отобранных им. На протяжении многих десятилетий, прошедших с тех пор, все предсказания этой теории, которые можно было проверить, неизменно подтверждались.

Были обнаружены и затем тщательно измерены маленькие поправки в движениях планет Солнечной системы, предсказываемые теорией. В 1919 году А. Эддингтон во время полного солнечного затмения обнаружил искривление световых лучей в поле тяготения Солнца, предсказанное А. Эйнштейном.

Затем было обнаружено покраснение световых лучей,

выходящих из повышенного поля тяготения, что также предсказывалось теорией.

Наконец, в 70-е годы с большой степенью уверенности были открыты черные дыры, эти удивительные образования, не похожие ни на что из уже известного в природе. Здесь общая теория относительности выступает не в качестве малых поправок к уже известным процессам, а проявляется во всей полноте, кардинально меняя геометрию пространства и свойства времени.

За все эти годы не было обнаружено ни одного факта, который заставил бы усомниться в теории относительности. Все это, вместе взятое, весь опыт истории науки XX века заставляет относиться весьма серьезно и к другим предсказаниям теории, которые еще не нашли прямого экспериментального или астрофизического подтверждения.

Мы видели, что современная физика, описывающая глубинное строение материи, развивается в направлении, начатом А. Эйнштейном. Выясняется, что природа всех физических взаимодействий едина. Весьма вероятно, что в основе свойств физической материи лежат сложные геометрические особенности пространства-времени.

В этой главе мы расскажем о новых возможностях, предсказываемых теорией. Эти возможности более чем фантастичны. Но такова стремительная современная наука, сводящая почти до нуля путь от фантастики до реальности! Правда, читатель может скептически покачать плечами: «Все, о чем будет говориться, — это пока лишь утверждения, основанные на рядах формул на листках бумаги, исписанных теоретиками. До каких-либо зримых воплощений в практику здесь еще очень далеко!»

И он, безусловно, будет прав. Теория — это еще не практика. Л. Больцман как-то в шутку сказал: «Один из моих друзей определил практика как человека, ничего не понимающего в теории, а теоретика — как мечтателя, вообще не понимающего ничего».

И все же хочется еще раз напомнить, что в XX веке стали практикой такие удивительные открытия, как, например, ядерная энергия или возможность космических полетов. О подтверждении предсказаний общей теории относительности уже говорилось. Будем помнить мудрое изречение, что ничего нет более практичного, чем правильная теория.

Вот почему мы здесь расскажем о смелых мечтаниях теоретиков, об их наиболее дерзких идеях. Как сказал знаменитый английский физик, открывший электрон, Дж. Дж. Томсон: «Из всех услуг, которые могут быть оказаны науке, введение новых идей — самая важная».

Речь пойдет о возможности путешествия в прошлое. Летом 1988 года я получил от К. Торна копию направленной в журнал «Физикэл ревью латтерз» работы, выполненной им вместе с молодыми его учениками М. Моррисом и У. Юртсевером. В статье приводились теоретические аргументы в пользу принципиальной осуществимости перемещений из будущего в прошлое. Это была смелая работа.

В науке и философии давно укоренилось мнение, что путешествие в прошлое невозможно. Напомним читателю, что возможность путешествия в будущее давно доказана. В разделе «Машина времени» мы уже рассматривали пример машины, позволяющей переместиться в далекое будущее. Это ракета, могущая двигаться с достаточно большой скоростью в космическом пространстве. После полета на ней космонавт, вернувшийся на Землю, оказывается в будущих эпохах истории нашей планеты.

Путешествие в будущее, конечно, непривычно для нас. Например, если космонавт проживет в ракете тридцать лет, а на Земле пройдет полтора века, то он окажется моложе своих праправнуков. Но все же это не ведет к каким-то видимым противоречиям. И жители Земли, и космонавты перемещались из прошлого в будущее во времени, как это всегда имеет место и в привычных для нас условиях. Только перемещение это происходило с разной скоростью — у космонавта много медленнее, чем у жителей Земли.

Иное дело — путешествие в прошлое. В случае такого перемещения можно было бы влиять на события, которые давно свершились. А раз так, то можно было бы менять и наше настоящее, которое зависит от изменений в прошлом событий. Хотя подобные истории давно встречаются на страницах фантастических романов, но реальную возможность этого никто из физиков до сих пор серьезно не обсуждал.

После опубликования статьи американских специалистов в научном журнале осенью 1988 года газета «Нью-Йорк таймс» писала: «Если бы удалось показать

возможность путешествия в прошлое хотя бы в теории, это само по себе имело бы фундаментальные философские и научные последствия. Поскольку путешественник во времени, возможно, был бы способен теоретически менять ход событий в прошлом, включая свое собственное рождение, законы причинности, на которых основывается наука, были бы повергнуты в хаос».

Далее говорилось, что авторы сенсационного исследования отмечают подобные гипотезы и один из них заявил, что они занимаются теоретической физикой, а не философией.

Последнее замечание абсолютно справедливо — сначала надо выявить саму возможность построения машины времени для путешествия в прошлое и только потом посмотреть, к каким следствиям это ведет.

Короткие сообщения о работе американских физиков промелькнули и в наших газетах, и в телевизионных передачах.

Здесь мы снова возвращаемся к машине времени, прообраз которой описан в фантастической повести Г. Уэллса, носящей то же название. Это была первая фантастическая повесть английского писателя, опубликованная в 1895 году и сразу сделавшая его знаменитым.

Сам процесс перемещения во времени в этой повести представляется как своего рода просматривание ускоренно прокручиваемой кинокартины. Путешественник по времени, неподвижно сидящий в кресле машины времени, видит быстро мелькающие «кадры» стремительно развивающихся событий, движущихся вперед при перемещении от прошлого к будущему или движущихся вспять при перемещении в обратном направлении. Этот «полет» в будущее или прошлое великолепно описан Г. Уэллсом. Вспомним, что в то время, когда создавалась повесть, кино только-только зарождалось.

В молодости писатель серьезно увлекался наукой, и это нашло отражение во всем его творчестве, в том числе и в первых произведениях.

Не менее впечатляющим, чем «полет» по времени, выглядит в повести и объяснение сути передвижения по времени, которое излагает герой в беседе с друзьями. Он начинает с очевидного замечания, что все предметы, имея три измерения — длину, ширину и высоту, — обязательно должны существовать хоть какой-то промежуток времени. Это и есть четвертое измерение, заключает ге-

рой. Он говорит: «В действительности же существует четыре измерения, из которых три мы называем измерениями пространства, а четвертое — временем существования... Единственное различие между временем и любым из трех пространственных измерений заключается в том, что наше сознание движется вдоль него».

Напомним, что эти строки были написаны за десять лет до создания специальной теории относительности. Далее герой Г. Уэллса утверждает, что разные изображения в нашем трехмерном пространстве помогают изучить четвертое измерение. «Например, вот портрет человека, когда ему было восемь лет, другой — когда ему было пятнадцать, третий — семнадцать, четвертый — двадцать три года и так далее. Все это, очевидно, трехмерные представления его четырехмерного существования, которое является вполне определенной и неизменной величиной в пространстве и времени».

Мы видим, что в этом описании история представляется как бы уже готовой, полностью записанной на ленту, как и у Лапласа. Вдоль этой записи можно скользить и вперед и назад. Герой повести говорит, что все дело в том, чтобы научиться скользить по времени вперед и назад так же легко, как мы это делаем в пространстве. Он подчеркивает, что и в пространстве мы не с одинаковой легкостью можем двигаться по всем направлениям. Так, совсем недавно человек не мог подниматься над поверхностью Земли на значительную высоту. Да и вообще он с гораздо большей легкостью двигается вниз, подчиняясь силе тяготения, чем вверх. Однако, говорит путешественник по времени, человек «вопреки силе тяготения может подняться вверх на воздушном шаре. Почему же ему не надеяться, что в конце концов он будет способен также остановить или ускорить свое движение по времени или даже направить свой путь в противоположную сторону?»

Конечно, повесть Г. Уэллса — это художественное произведение, посвященное социальным проблемам будущего и являющееся в какой-то степени, наверное, своеобразным предупреждением, демонстрирующим, как может деградировать человеческое общество, если будет разделено на антагонистические классы. Но он был великим художником, способным глубоко продумывать и научные детали, принципы, законы. Поэтому так ярко и запоминающе описаны им мечты о полетах во времени.

Но вернемся от этих мечтаний к науке второй половины XX века. Что можно с научной точки зрения сказать о возможности «полетов» в прошлое (о «полетах» в будущее см. стр. 66—75)?

Прежде всего сразу надо отметить, что представлять себе такое перемещение вспять по времени, как прокручивание кинокартины в обратном направлении «перед человеком, неподвижно сидящим в кресле», заведомо неверно. Мы увидим далее, что для перемещений по времени необходимо двигаться и в пространстве (об этом уже говорилось на стр. 67). Заметим также, что ни при каком «полете» по времени сами мы не можем помолодеть. В каждом из нас, как и в любом другом человеке или какой-либо системе, время может течь только вперед, только от молодости к старости. Нам известен закон роста беспорядка, увеличения энтропии, а это и определяет старение организма. (Оговоримся здесь все же, что можно вообразить пока чисто фантастическую ситуацию, когда вмешательство извне в процессы в человеческом организме на уровне живой клетки может предотвратить старение и даже вернуть молодость, но это вопрос о регулировке жизненных процессов, а не о беге времени.) Направление «психологической стрелы времени», как мы знаем, совпадает с этой «термодинамической стрелой времени». Но можно представить, что человек с помощью специально сконструированной машины попадает в некий «тоннель», проходя который он движется вспять по отношению ко времени во внешнем пространстве и, выходя через другое отверстие этого «тоннеля», он попадает в прошлое. Сам путешественник в прошлое при этом, разумеется, вовсе не становится более молодым. Однако, попав в прошлое, он может, например, оказаться во времени своей юности или даже в эпохе до момента своего рождения!

Такое путешествие выглядит в некотором смысле как отделение небольшой части потока воды от могучей реки и перекачивание ее насосами по трубам вдоль берега в направлении противоположном основному потоку, а затем сбрасывание этой воды в реку далеко вверху по течению.

Нечто подобное такой картинке, только относящееся к реке времени, и рассматривается современной наукой как теоретическая возможность. Чтобы не рассердить слишком сильно моих коллег-физиков, которым кто-нибудь из читателей может рассказать, о чем я здесь на-



писал, оговорюсь сразу, что некоторые из них (коллег) считают любое путешествие в прошлое решительно невозможным. Но к этим спорам мы еще вернемся.

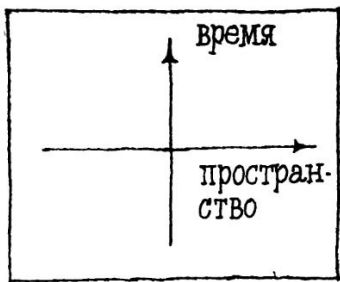
Чистые теоретики, скорее даже математики, чем физики, уже давно в своих трудах рассматривали причудливые фантастические миры, в которых путешествие в прошлое возможно. Эти миры порождены решением систем уравнений общей теории относительности. По-видимому, все тогда считали, что эти решения не имеют ни малейшего отношения к действительности, хотя и интересны для исследования структуры самой теории. Тот факт, что формулы правильной теории могут давать неправильные — «физически бессмысленные» — результаты, знает, конечно, каждый из своего опыта знакомства со школьной арифметикой. Достаточно поставить в условие задачи неправильные числа, как «правильная» арифметика выдаст невероятный результат: скажем, чтобы вырыть котлован объемом 30 кубических метров за 4 дня при производительности труда равной 3 кубометрам на одного землекопа в день, необходимо... 2,5 землекопа. Подобные «ответы» доводили до слез не одного ребенка. Большинство физиков относило миры с причудливыми свойствами времени к подобным «ответам».

Специалисты все же терпеливо изучали курьезные решения уравнений теории, хотя полностью сознавали их нереальность. Ведь любопытно знать, как могут быть устроены такие вселенные, в которых имеются «петли времени» и можно оказаться в своем прошлом.

Одно из первых решений такого рода было получено К. Геделем в 1949 году. В нем рассматривалась стационарная неменяющаяся со временем Вселенная. Уже поэтому модель не могла отвечать действительности, ибо мы наблюдали разбегание галактик. Вселенная Геделя наполнена однородным веществом с довольно странными свойствами, и, самое важное — она вращается. В такой Вселенной расстояния между всеми частицами вещества неизменны. Если мы прикрепим к каждой частице совершенно одинаковые часы, то как бы мы ни сверяли их друг с другом, чтобы «одновременно» запустить для отсчета времени, это сделать не удастся: нет для этого вещества и связанных с ним часов понятия «одновременно».

В общем, получается весьма экзотическая модель фантастической Вселенной. В этой Вселенной есть, как

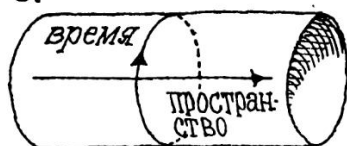
а.



б.



в.



г.

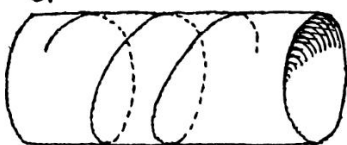


Рис. 14

принято говорить, «петли времени». Из любой ее точки можно отправиться по определенному пути так, что, идя с некоторой скоростью вперед и вперед, обходишь мир и возвращаешься в эту исходную точку точно в момент начала путешествия! Иначе говоря, путешественник огибает этот мир не только в пространстве, но и во времени.

Все это выглядело забавно. Словом, решение было настоящей для теоретиков математической игрушкой. Но и не более. Можно было относиться к существованию «петель времени» в решении К. Геделя как к смешному курьезу, подобному двум с половиной землекопам в рассмотренной выше арифметической задаче.

На решение Геделя обратил мое внимание А. Зельманов, когда я был еще студентом. Сам он использовал это решение как математический пример при доказательстве серьезной теоремы. Я же развлекался, исследуя забавные свойства кривых линий в этой Вселенной.

Теоретики «игрались» и с другими моделями, в которых есть «петли времени».

Одну из таких моделей мы с Я. Зельдовичем рас-

смотрели в нашей вполне серьезной (более семисот страниц) монографии «Строение и эволюция Вселенной». Эта модель очень поучительна, и я о ней здесь коротко расскажу, надеясь, что в результате вам станет чуть яснее, что имеется в виду, когда говорят о «петлях времени».

Мы уже изображали на картинках в этой книге пространство-время: по горизонтали откладывали пространственное направление, по вертикали — время. Поступим так и сейчас. Берем листок бумаги (на нем рисунок 14а), изгибаем его, как показано на рисунке 14б, и склеиваем верх рисунка с низом. Получается цилиндр (рисунок 14в), в котором окружности, его образующие, являются «петлями времени» (цилиндр следует считать бесконечно длинным). Скользя вместе с потоком времени по окружности цилиндра, возвращаемся к исходному моменту в прошлом. Можно, конечно, не возвращаться точно к исходному событию. Для этого достаточно перемещаться с течением времени вправо по пространству. Жизненный путь такого путешественника изобразится спиралью (рисунок 14г), она может быть все длиннее и длиннее «по времени» без постоянного кружения по одному и тому же временному пути, как это было при эволюции по «петле времени» на предыдущем рисунке.

Мы обсудили в нашей книге, вышедшей в 1975 году, что было бы с физическими процессами в такой замкнутой по времени Вселенной. При этом подчеркнули, что, несмотря на непривычность и известную «странность» процессов в этой модели мира, можно построить физику, в которой такая ситуация, возможно, не ведет к каким-либо противоречиям.

Все это были лишь короткие замечания о «петлях времени», но мы с Я. Зельдовичем относились к ним по-разному. Я — вполне серьезно и думал, что следует изучать возможность возникновения «петель времени» и в реальной Вселенной. Академику все это не очень нравилось с самого начала. Наша книга была затем переведена на английский язык и издана в Америке. Недавно я внимательно перечитал это место в английском варианте и обнаружил, что описание модели с «петлями времени» отсутствует в тексте! Я. Зельдовича, увы, уже нет в живых, и я не мог спросить, что произошло при переводе. Наверное, он при чтении корректуры выкинул это место, вызывавшее у него, по-видимому, антипатию.

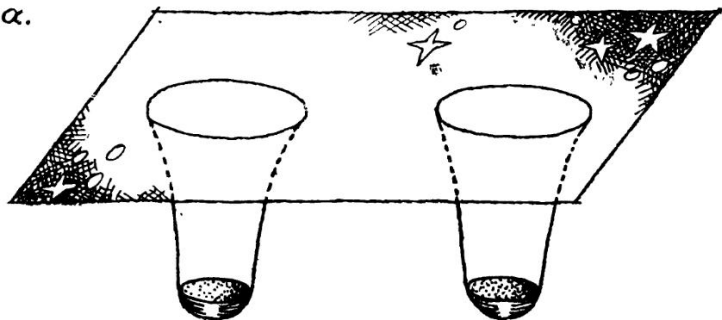
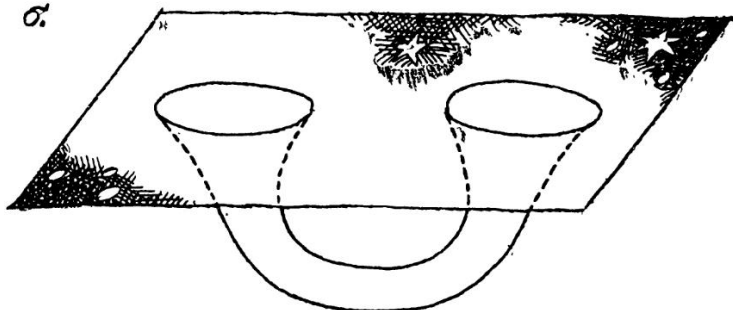
$\alpha$ . $\beta$ .

Рис. 15

К счастью, в другой книге, изданной мною на английском языке, описание модели с «петлями времени» имеется.

Должен, однако, заметить, что, теперь, уже к несчастью, я все же без должного внимания и серьезности отнесся к изучению возможности существования «петель времени». Отчасти это объясняется скептицизмом Я. Зельдовича, имевшим на меня огромное влияние. Я размышлял о «петлях времени» и до написания нашей книги, иногда возвращался к этим идеям и позже, кое-что пробовал вычислять, но все это делал без должной настойчивости. Только прочитав работу К. Торна и его учеников, я спохватился и буквально «загорелся» желанием хоть на шаг продвинуться к заветной цели — научиться «летать» в прошлое — и стал над этим работать. В чем же состояла суть предложений американских физиков?

Их работу можно разделить на два этапа. Первый состоял в рассмотрении возможности создания своеобразного «тоннеля», соединяющего два отверстия и подобного «горловинам», о которых мы уже говорили в разделе «Дыры в пространстве и времени». Только этот «тоннель» должен быть стабилен, чтобы сквозь него можно было ходить. Иными словами, эта часть работы состояла в доказательстве возможности заставить «тоннель» от «схлопывания» силами тяготения и инерции.

Второй этап заключался в демонстрации того, как можно превратить этот «тоннель» с двумя входами в Машину Времени.

К. Торн вспоминает, что он занялся первой проблемой (как стабилизировать «тоннель») после ознакомления в 1985 году с рукописью романа К. Сагана «Контакт». Напомним, что К. Саган — известный астроном и не менее известный писатель. Он попросил К. Торна как специалиста проглядеть некоторые отрывки из своего нового фантастического романа, в котором решил использовать черные дыры для мгновенных перемещений героев к далеким звездам. Просьбу объяснил тем, что хотел бы как можно меньше вступать в своем романе в противоречие с выводами физики. К. Торну, проглядевшему роман по дороге в автомобиле, было ясно, что собственно черные дыры не годятся для каких-либо межзвездных путешествий. Из них нет выхода. А вот использовать «тоннели», соединяющие две дыры, если как-то заставить стабилизировать и дыры и «тоннели», превратив их в статические конструкции, через которые можно проходить в любом направлении, вполне возможно. (Несколько сделанных им математических вычислений показали, что для стабилизации внутри «тоннеля» должно находиться необычное вещество или физическое поле, по свойствам схожее с вакуумноподобными состояниями (о нем мы говорили выше).

Затем он посоветовал К. Сагану переделать несколько мест в романе, что тот и сделал, переписав отдельные страницы уже в корректуре.

Но сам К. Торн не оставил этой идеи. Вместе со своим учеником М. Моррисом они принялись за работу, и в начале 1987 года первый вариант статьи, посвященной использованию (пока что гипотетическому) стабилизированных «тоннелей» для быстрых межзвездных путешествий, у них уже был готов.

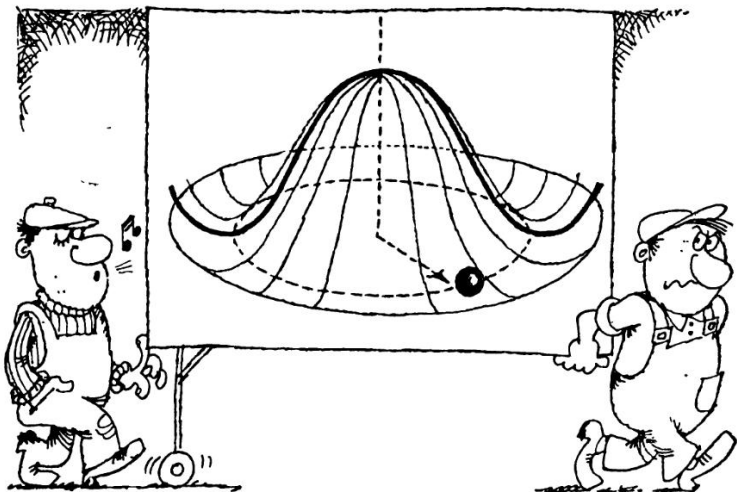


Рис. 16

В дальнейшем они вместе с Юртсевером описали более конкретное устройство «тоннеля». Что же необходимо для того, чтобы силы гравитации в столь необычной ситуации не вызвали схлопывания «тоннеля»?

Они предлагают следующую конструкцию. Сначала в двух областях недалеко друг от друга создаются путем сжатия масс огромные гравитационные поля с сильным искривлением пространства в них (см. рисунок 15а). Затем эти области искривления соединяются в «тоннель» (рис. 15б). Возникший «тоннель», соединяющий два отверстия, аналогичен изображенному на рисунке 5а. Отличие от рисунка 5а заключается в том, что американцы предлагают в момент создания «тоннеля» заставить его. Для этого в наиболее узком его месте надо поместить близко расположенные друг к другу две одинаково заряженные идеально проводящие ток пластинки. (В этом сильно искривленном пространстве каждая из пластин будет иметь сферическую форму.) Между пластинами возникнет специфическое вакуумноподобное состояние, называемое электромагнитным «казимировским вакуумом». Поясним на нескольких последующих страницах, что это такое.

О разных вакуумноподобных состояниях уже говорилось. До сих пор мы рассматривали их в необычных условиях больших плотностей и температур. Но оказы-

ваются, что особые вакуумноподобные состояния могут существовать и в нашей сегодняшней Вселенной.

Мы вынуждены сделать здесь небольшое отступление, с тем чтобы познакомиться с такими состояниями. Они очень важны во многих аспектах и представляют, конечно, самостоятельный интерес. Для нас же важно, что некоторые из них могут использоваться для стабилизации пространственных «тоннелей».

Прежде всего оказывается, что в нашей сегодняшней Вселенной могут существовать диковинные образования, являющиеся вкраплениями вакуумноподобных состояний или, как их иначе называют, вкраплениями «ложного вакуума» в наш «истинный вакуум».

Поясним, что здесь имеется в виду на упрощенном примере. Для этого вспомним, как образуется «наш вакуум», когда хиггсовское поле, являющееся ложным вакуумом, «скатывается» с потенциальной «горки» в «ложбину» (см. стр. 149). Представим себе, что горка имеет вид холмика, возвышающегося над круглой ложбиной (см. рисунок 16). Теперь шарик, положенный на вершину, может скатиться в любое место круговой ложбинки. Это значит, что наинизшее энергетическое положение шарика может быть различным и характеризоваться точкой в ложбине. Эта точка может отмечаться направлением (стрелкой), по которому скатывался шарик с вершины. Таким образом, наинизшее энергетическое состояние должно характеризоваться еще и стрелкой. В разных точках пространства новый вакуум мог образовываться при «скатывании» шарика по разным направлениям, то есть «стрелка вакуума» может быть ориентирована по-разному, плавно поворачиваясь от места к месту.

Изобразим картину подобных стрелок в разных точках на плоскости. Может случиться так, что, плавно поворачиваясь от точки к точке, стрелки совершат полный поворот, как показано на рисунке 17. Тогда всегда найдется такая точка (точка А на рисунке 17), вблизи и вокруг которой стрелки имеют самые разные направления. Таким образом, в точке А нельзя придать стрелке такого направления, чтобы оно плавно переходило в направление стрелок в соседних точках. Это значит, что старое вакуумноподобное состояние («ложный вакуум») в данном месте не сможет «скатиться с горки» ни по какому направлению, чтобы вместе с другими стрелками образовать новый вакуум с плавным поворотом от

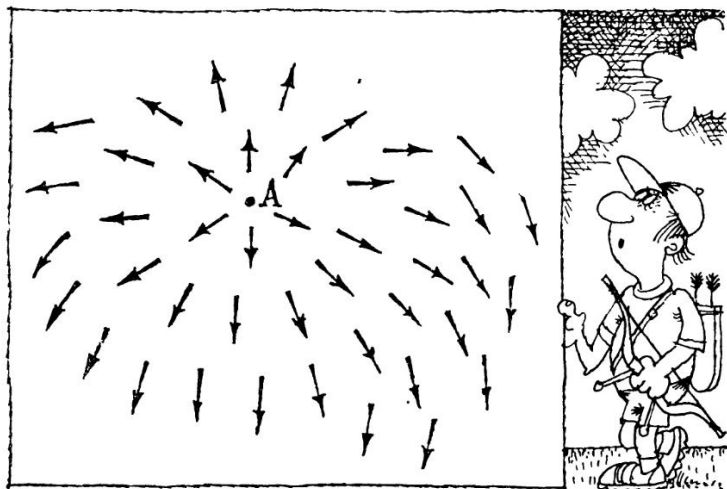


Рис. 17

точки к точке. В данной точке А останется старый вакуум, а вокруг будет вакуум новый!

Интересную механическую аналогию возможности возникновения такой странной ситуации, когда система стремится перейти в более выгодное энергетическое состояние, но не всем точкам системы удастся это сделать, придумал физик В. Унру.

Рассмотрим множество карандашей, стоящих вертикально на плоскости и соединенных между собой резинками, закрепленными у верхних концов (рисунок 18а). Ясно, что такое их положение неустойчиво, каждый из них при малейшем сотрясении стремится упасть. Но направление, в котором начнет падать каждый карандаш, случайно. Конечно, все они могут упасть примерно в одном направлении (рисунок 18б). Тогда вся система перейдет в более выгодное энергетическое состояние лежащих карандашей. Но представим себе, что далекие друг от друга карандаши начали падать в разные случайные стороны (рисунок 18в), увлекая за собой резинками соседние. Тогда возможно, что вокруг какого-либо карандаша (А на рисунке 18г) его соседи упадут по разным направлениям, натягивая за собой резинки. В результате карандаш А останется стоять, удерживаемый в таком положении растяжками-резинками. Теперь



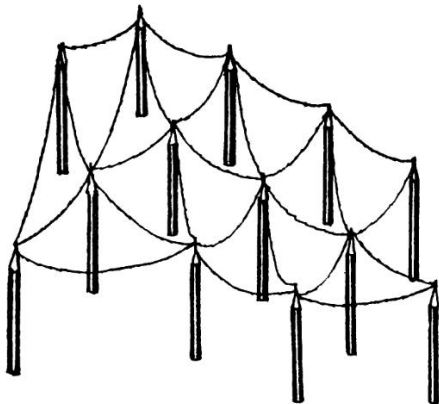
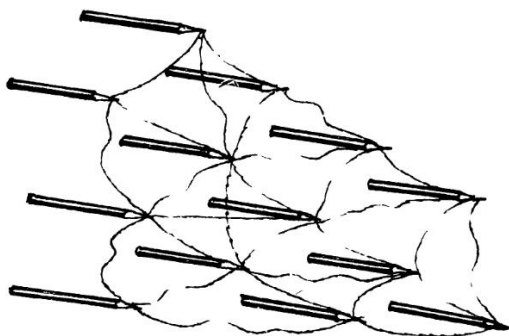
$\alpha$  $\sigma$ 

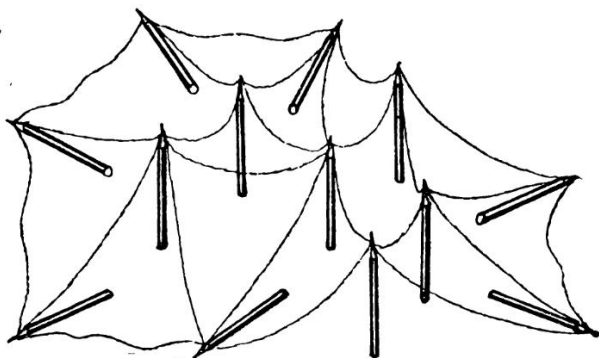
Рис. 18а, б

его положение вполне устойчиво и он не будет падать даже при заметных сотрясениях.

Так и в случае хиггсовского поля, образующего состояние ложного «вакуума». Оно может вокруг какой-то точки «скатиться» с горки в разных направлениях и тянуть за собой поле в данной точке, которое, как карандаш на растяжках-резинках, уже не может в этой точке «скатиться» с горки и останется в первоначальном положении.

Похожие ситуации могут возникать не только на плоскости, но и в пространстве. Такое, оказывается, возможно при спонтанном нарушении симметрии с понижением температуры образования нового вакуума, в кото-

6.



2.

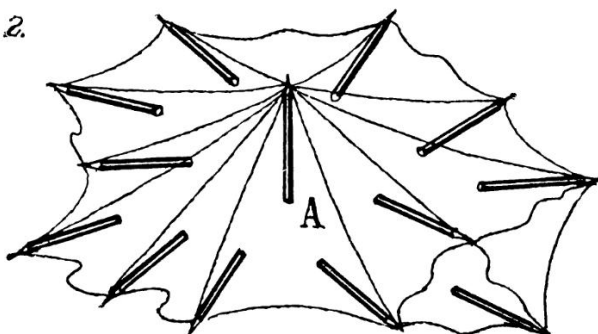


Рис. 18в, г

рый вкраплены точки старого вакуума и этот старый вакуум не может разрушиться, не может перейти в новый; по аналогии с тем, как карандаш А не может упасть и присоединиться к своим соседям.

Необходимость возникновения таких удивительных объектов в теории великого объединения была показана советским физиком А. Поляковым и американским физиком Г. т'Хофтом в 1974 году. Что же это за образования?

Свойства их должны быть удивительны. Прежде всего оказалось, что они должны быть изолированными магнитными полюсами.

Вспомним по этому поводу следующее весьма стран-

ное обстоятельство. Среди элементарных частиц есть электрически заряженные, но нет магнитозаряженных! Конечно, многие элементарные частицы обладают магнитными свойствами. Но при этом они представляют собой маленькие магнетики, то есть у них всегда есть и северный и южный магнитные полюса одновременно. Ни в мире элементарных частиц, ни вообще нигде в природе не обнаружен изолированный только, скажем, северный или только южный магнитный полюс. Они встречаются обязательно в паре. Если разрезать магнит пополам, то мы не получим, конечно, отдельно северный и отдельно южный полюса, а получим два магнита, и у каждого будет пара полюсов. В то же время изолированный электрический заряд — и положительный, и отрицательный — встречается сплошь и рядом. Почему это так? Чем магнитный заряд хуже электрического?

Да ничем! Еще в 1931 году английский физик П. Дирак показал, что изолированные магнитные заряды, как говорят — магнитные монополии, вполне могут существовать в природе. Физики уже давно пришли к твердому убеждению, что все то, что не запрещено специально законами природы, должно реально существовать (хотя иногда и является весьма редким или существующим в экзотических условиях).

Такова же судьба и предсказанного П. Дираком магнитного монополя. Он должен существовать, согласно теории Великого объединения, в виде вкраплений старого вакуума в новый. От этого образования исходят магнитные силовые линии точно так же, как из электрона исходят силовые линии электрического поля. Однако между магнитным монополем и электроном есть весьма существенные различия. Прежде всего магнитный монополь очень массивен. Его масса должна быть, вероятно, в тысячу миллионов миллиардов раз больше массы протона. Даже с нашей макроскопической точки зрения это не так уж мало и составляет одну стомиллионную долю грамма.

Но наиболее существенное отличие монополя от истинно элементарных частиц состоит в том, что он обладает сложной внутренней структурой в пространстве. Большая часть его массы сосредоточена в очень маленьком объеме — в поперечнике в миллион миллиардов раз меньше размеров атомного ядра. Этот размер во столько же раз меньше размера протона, во сколько маленькая монетка меньше всей Солнечной системы!

Внутри этого крошечного объема сосредоточена большая энергия, там царит Великое объединение всех сил природы (кроме гравитации). Вокруг этого ядрышка есть зона, где присутствуют многочисленные X- и Y-бозоны. Во внешних, достаточно разреженных, областях имеются и  $W^{+-}$ , и  $W^{-}$ , и  $Z^0$ -бозоны. Внешние границы монополя имеют радиус примерно в сто раз меньше размеров атомного ядра. Читатель наверняка уже догадался, что огромная масса монополя является непреодолимым препятствием для получения его на ускорителях. Однако монополи могли остаться в виде реликтов процессов в очень ранней Вселенной. Как можно было бы их зарегистрировать?

Простейший путь состоит в следующем. Представим себе, что имеется круговая петля сверхпроводника, по которой течет электрический ток. Если магнитный монополь пролетит сквозь такое кольцо, то это приведет к появлению электродвижущей силы в кольце и ток в нем внезапно изменится, что может быть зарегистрировано. Разумеется, при этом должны быть приняты специальные меры защиты этого кольца от других причин, которые могут привести к внезапным изменениям тока в кольце.

Подобные эксперименты были проведены в начале 80-х годов в Стэнфордском университете (США) Б. Кабрерой. Он использовал в качестве проводника ниобиевое кольцо диаметром в пять сантиметров и охлажденное почти до температуры абсолютного нуля. В 1982 году он объявил, что после 150 дней наблюдений им зарегистрировано изменение тока в кольце, которое может быть вызвано пролетом монополя. Однако надежных подтверждений этого результата пока нет и вопрос остается открытым.

С другой стороны, мы знаем, что если монополи и есть в сегодняшней Вселенной, то их не может быть слишком много. В качестве детектора здесь опять выступают астрофизические наблюдения. Известно, что в нашей Галактике имеются крупномасштабные магнитные поля напряженностью около одной миллионной доли напряженности земного магнитного поля. Монополи должны двигаться под действием этих галактических полей, что приводит к уменьшению напряженности полей, подобно тому, как движение электрически заряженных частиц по проводнику от полюса к полюсу батареи вызывает уменьшение напряженности электрического по-

ля. Так как мы надежно наблюдаем галактическое магнитное поле и знаем процессы, которые могут его генерировать, то можно подсчитать то максимально возможное количество монополей, которое могло бы быть во Вселенной, не вызывая еще очень быстрого уменьшения галактического магнитного поля. Оказывается, что в среднем во Вселенной на сто миллиардов миллиардов протонов может быть не больше одного магнитного монополя.

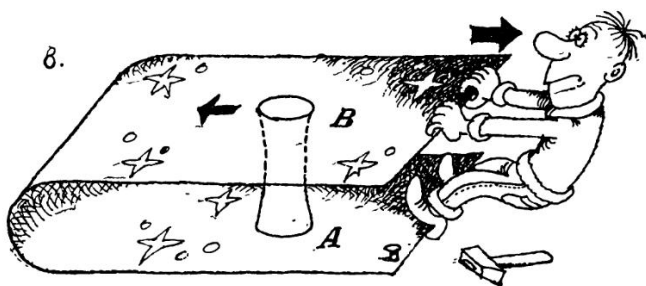
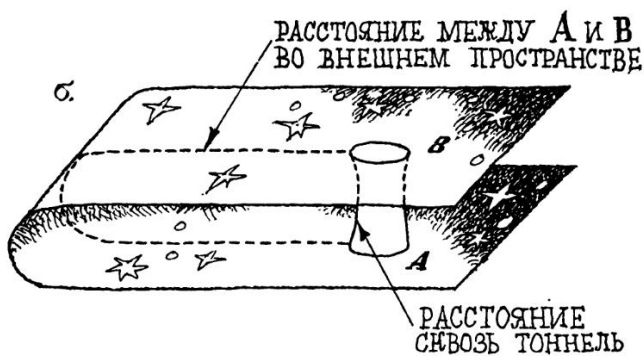
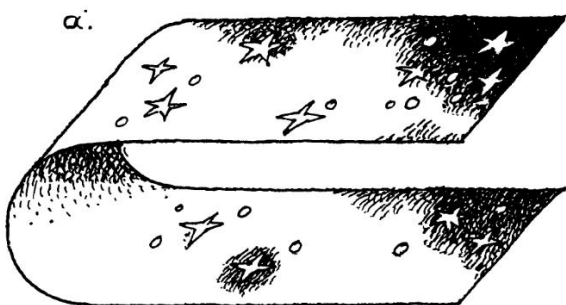
Наконец, монополь обладает еще одним свойством, представляющим незаурядный интерес. Как читатель помнит, внутри монополя, в его сердцевине, плотность энергии огромна и там в изобилии имеются переносчики сил Великого объединения. А эти переносчики могут превращать кварки в лептоны, в частности, вызывать распад протона, когда очень редко они рождаются в нем. Советский физик В. Рубаков в 1981 году обратил внимание на то, что встреча монополя с протоном может приводить к драматическим для протона последствиям. Частицы — переносчики сил Великого объединения внутри монополя могут взаимодействовать с кварками протона, вызывая его распад.

Так магнитный монополь может служить своеобразным катализатором распада протона. Сам он при этом не разрушается.

Описанные выше диковинки могут быть одним из типов «ложного вакуума», существующего в нашей Вселенной. Но в привычных нам условиях может существовать необычный вакуум и другого типа. Это «казимировский вакуум». Причем, если «реликтовый вакуум» — пока только гипотеза, «казимировский вакуум» реально наблюдался. Что это такое?

Необычное состояние было теоретически предсказано нидерландским физиком Х. Казимиром, а его проявления экспериментально обнаружены в лаборатории фирмы «Филлипс Глуилампен фабрикен» в Эйнховене. «Казимировский вакуум» появляется между двух очень чистых, плоских, параллельно расположенных проводящих пластинок, когда их сближают на очень малые расстояния.

Виртуальные заряженные пары частиц непрерывно рождаются и аннигилируют в вакууме. Появляясь теперь между пластинками, они взаимодействуют с этими проводящими поверхностями. В результате вакуум между пластинками перестраивается, возникает отличная от



А - НЕПОДВИЖНО  
В - ДВИЖЕТСЯ СРЕДИ ЗВЕЗД

нуля энергия (она оказывается отрицательной), и появляется также вакуумное натяжение между пластинками. Это и есть «казимировский вакуум». Он проявляет себя как слабое притяжение между пластинками. Его проявление зависит от степени сближения пластинок, их чистоты и так далее, и обычно оно очень слабо. Но теоретически «казимировский вакуум» можно сделать плотным, а вызываемые им натяжения — огромными.

Вот это необычное явление и предлагают в будущем использовать американские теоретики для стабилизации «тоннеля», соединяющего отверстия. Как мы помним, «казимировский вакуум» в их проекте возникает между двумя пластинами, введенными в «тоннель». Огромные специфические гравитационные силы, вызванные этим вакуумом, стабилизируют «тоннель». В пластинах делаются небольшие люки и изолирующая стенка так, чтобы сквозь пластины можно было проходить.

Надо подчеркнуть, что свойства материала, из которого должны быть сделаны заряженные пластины, столь необычны, что пока подходящее для этого вещество неизвестно в природе. Но, с другой стороны, нет и физических законов, которые запретили бы будущей высоко-развитой цивилизации создать такое вещество. То же можно сказать и о создании самого тоннеля. Пока не совсем ясны «детали» его строительства, хотя нет и каких-то специальных «запретов» природы на его создание.

Итак, предположим, что подобный «тоннель» в будущем будет построен. Тогда с отверстиями, которые он соединяет, можно провести следующую операцию. Их можно растащить на большое расстояние друг от друга, никак не меняя длины «тоннеля» между ними. На первый взгляд это выглядит совершенно невозможным. Но это только на первый взгляд.

Представим себе опять для наглядности вместо нашего пространства пока без всяких отверстий и «тоннелей» плоский лист. Вообразим также плоские существа, которые могут передвигаться по этому «пространству» среди плоских звезд и могут проводить в нем геометрические измерения. Если теперь плавно изогнуть этот лист, как показано на рисунке 19а, не смятая его и не разрывая, то на листе ничто не изменится. Все геометрические соотношения сохранятся. Расстояния между любыми точками, если их измерять вдоль кратчайших

линий, остающихся в пределах листа, не изменятся. Как говорят, внутренняя геометрия листа останется прежней. Но тогда плоские существа не могут знать, изогнут лист в каком-то внешнем пространстве или нет. Все будет на листе совершенно одинаково в обоих случаях. Теперь представим, что при изогнутом листе два отверстия соединены коротким «тоннелем» (рисунок 19б). Мы теперь видим, что путь от одного отверстия до другого во внешнем пространстве может быть большим, а сквозь «тоннель» — совсем коротким. Но это еще не все. Если потянуть за верхний край листа, оставляя на месте нижний край и оба отверстия, то верхняя часть листа будет скользить относительно отверстия В на рис. 19в. Так как движение относительно, то можно считать, что это верхнее отверстие перемещается среди звезд. Таким образом расстояние между отверстиями во внешнем пространстве может меняться — увеличиваться и уменьшаться, — а длина «тоннеля» меняться не будет.

Все сказанное об отверстиях и «тоннелях» на нашей двумерной поверхности модели справедливо и в случае отверстий и «тоннелей» в трехмерном пространстве. Только представить себе такую ситуацию с искривленным трехмерным пространством гораздо сложнее. Отверстия А и В снаружи очень похожи на черные дыры. Отличие только в том, что в отверстия можно входить и выходить. Внутри же они соединены коридором и резко отличаются от черных дыр. Здесь можно двигаться и от отверстия А к В и наоборот. Можно так подобрать параметры отверстий и «тоннеля», что гравитационное воздействие на живые существа будет не слишком сильным во время их движения по коридору и вполне ими переносимо.

Теперь ясно, как люди будущего, построившие статический коридор, соединяющий два отверстия А и В, могли бы использовать эту конструкцию. Сначала надо отбуксировать одно из отверстий к далеким звездам, не меняя длины коридора, который может быть пренебрежимо коротким по сравнению с удаленностью отверстий друг от друга во внешнем пространстве (рисунок 19б). Как перемещать в пространстве черные дыры, мы уже разбирали в разделе «Энергия из черных дыр».

А так как наши отверстия снаружи практически не отличаются от черных дыр, то и с ними можно поступать так же.



Наша конструкция теперь может служить Машинной Пространства (пока еще не Машинной Времени). Действительно, путешественник, войдя в отверстие А на рисунке 21 и пройдя короткий тоннель, выйдет из В у далеких звезд. Он потратит на это путешествие совсем немного времени. Для того чтобы попасть к звездам, ему незачем совершать длинный и утомительный межзвездный перелет во внешнем пространстве.

Уже эта Машина Пространства выглядит необычайно интересно. Читатель, надеюсь, простит меня за то, что я описывал некоторые тонкости ее устройства и в этих местах при чтении требовалась известная внимательность. Результат окупает потраченные усилия.

Теперь мы переходим к наиболее интригующей части. Посмотрим, как отверстия с «тоннелем» переделать в Машину Времени.

Из рассуждений в начале этой главы нам, надеюсь, стало ясно, что для путешествия в прошлое необходимо создать «петли времени». В математических моделях, о которых мы говорили выше, «петли времени» существовали повсюду, но сама модель не имела прямого отношения к действительности.

Сейчас мы увидим, как конструкция со стабильным «тоннелем» может привести согласно расчетам к возникновению «петель времени» в реальной Вселенной. В принципе это возможно сделать даже в окрестности нашей планеты.

Первые наброски такого проекта содержались еще в работе К. Торна и М. Морриса 1987 года. Они затем значительно детализировали и усовершенствовали этот проект в работе с Юртсевером в 1988 году. Когда я прочел эту работу, то предложил свой вариант Машины Времени, опубликованный также осенью 1988 года. Расскажу об этом варианте. Делаю это не только потому, что мне принадлежит авторство, хотя, конечно, каждому легче рассказать о предложенном им самим решении, но главным образом из-за того, что объяснить работу этой версии Машины Времени легче, чем предложенной американскими физиками.

Чтобы проследить за работой Машины Времени, от читателя опять потребуется определенная внимательность. Ничего не поделаешь — это все же Машина Времени. «Все следует сделать простым, насколько это возможно, но не проще», — говорил Эйнштейн. Те из читателей, кто не склонен вникать в тонкости, пусть

пропустят следующие пару страниц и обратятся сразу к результату.

Итак представим себе два отверстия А и В, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, но соединенных коротким тоннелем. Поместим у отверстий А и В одинаковые часы. Пусть они находятся все же на достаточном расстоянии от отверстий, чтобы на их ход практически не влияло сильное гравитационное поле отверстий. Однако расстояние должно быть все же мало по сравнению с расстоянием между А и В во внешнем пространстве.

Представим далее путешественника, который отправился от отверстия А и движется к В во внешнем пространстве. Пусть он перемещается не слишком быстро, чтобы время у него текло практически так же, как у А. В момент начала его путешествия одновременно запускают часы А и В. Пусть он затратил на это путешествие 10 лет, что и фиксируется по часам у отверстия В, а затем входит в отверстие В и возвращается через тоннель к А. Так как тоннель очень короткий, то на его преодоление практически совсем не затрачивается времени, то есть путешественник возвращается к А почти в тот же момент, что вошел в В. Пока ничего необычного не произошло — наш герой вернулся к А через 10 лет после отправления.

Изменим теперь ситуацию. Пусть отверстие А все время неподвижно, а отверстие В с большой скоростью обращается вокруг отверстия А. Включим часы А и В одновременно в момент начала кружения В. Часы В, участвуя в стремительном движении вокруг А, согласно выводам специальной теории относительности будут идти медленнее, чем часы А, и будут все больше и больше отставать от А. Пусть скорость их вращения такова, что они идут вдвое медленнее, чем часы А. Значит, когда по часам А пройдет 10 лет, по часам В только 5, если по А пройдет 30 лет, по часам В 15 лет и т. д.

Все это справедливо, если часы А и В сверяются во внешнем пространстве. Наблюдатель у часов А будет реально видеть, что часы В замедлили свой бег и отстали от А. При наблюдениях в телескоп он прямо видит, что секундная стрелка часов В движется вдвое медленнее, чем стрелка его часов. Наблюдатель, находящийся все время у отверстия В (и движущийся с ним), также увидит, что его часы отстают от часов А.

Но совсем иная картина представится наблюдате-

лям, если они будут смотреть друг на друга через «тоннель». Поскольку он очень короткий, то каждый наблюдатель видит, что и часы А, и часы В практически находятся рядом. И хотя силы тяготения и инерции в тоннеле заметны, они из-за его короткости не создают больших перепадов физических условий для часов, и они наблюдателям через тоннель кажутся идущими практически одинаково, показывают одинаковое время.

Итак, в зависимости от способа наблюдения (а лучше сказать — от способа синхронизации часов) результат получается разный! И дело здесь не в каких-то недостатках одного из методов синхронизации — просто свойства потока времени во внешнем пространстве и в «тоннеле» теперь разные!

Посмотрим, к чему это приведет. Пусть опять путешественник отправляется от А к орбите кружения отверстия В и выбирает направление своего прямолинейного движения во внешнем пространстве так, чтобы подойти к орбите В в тот момент, когда в этой же точке окажется стремительно движущееся отверстие В. Видя подлетающее отверстие, путешественник набирает скорость, равную скорости отверстия В, ныряет в него и через «тоннель» возвращается к отверстию А. Все это нетрудно представить.

Мы пока не заботимся о перегрузках, действующих на путешественника. В принципе всегда можно подобрать параметры движений так, чтобы перегрузки были приемлемыми. Все наше внимание сосредоточено сейчас на ходе течения времени, на его темпе.

Проследим внимательно за движением путешественника. Допустим, он отправляется в полет по внешнему пространству, когда отверстие В уже долго кружило вокруг А и часы у В заметно отстали от часов А, скажем, путешественник стартует, когда часы А показывали 20 лет (после начала кружения В), а часы В, шедшие вдвое медленнее, показывали только 10 лет. Все это, разумеется, с точки зрения наблюдателей из внешнего пространства.

Пусть путешественник затратил на полет к В по-прежнему 10 лет по часам А; следовательно, по часам В проходит вдвое меньше времени, то есть всего 5 лет. Так как старт произошел по часам В в 10 лет, то в момент прибытия его к В они показывают 15 лет с начала их кружения. К этому моменту часы А «натикали» уже 30 лет.

Теперь путешественник ныряет в отверстие В. В этот момент он, как и любой наблюдатель у В, может взглянуть сквозь «тоннель» на часы А и увидит, как мы уже установили, что часы А показывают то же время, что и В, то есть 15 лет после начала кружения! Видя перед собой эти часы, он быстро проходит сквозь короткий «тоннель» и практически в тот же момент появляется из отверстия А, откуда он и начинал свое путешествие.

Но он ведь начинал свое путешествие, когда часы А показывали 20 лет! А вернулся, когда на них — 15 лет! То есть он вернулся раньше старта! Свершилось то, что казалось невозможным — путешественник попал в прошлое! Говоря словами Гамлета, «раньше это считалось парадоксом, а теперь доказано».

Если у кого-то из читателей осталось беспокойство за путешественника, ныряющего в стремительно мчащееся отверстие В и испытывающего после этого еще и центробежные ускорения, то пусть он не волнуется. После достаточно продолжительного кружения, когда часы В значительно отстали от часов А, отверстие В можно остановить. Накопленного отставания часов В достаточно. Конструкция уже превратилась в Машину Времени.

Такое же путешествие от А к В во внешнем пространстве, и затем к А сквозь «тоннель», будет возвращать космонавта в его прошлое.

Эта же Машина Времени может служить и для «полета» в будущее. Для этого надо проходить «тоннель» в обратном направлении. Надо, отправляясь от А, сначала пройти по «тоннелю» к отверстию В, выйти из него, а затем по внешнему пространству совершить перелет к А. Вернувшись, вы попадете в достаточно далекое будущее. Заметьте, что вы двигались с умеренной скоростью и замедления времени, предсказываемого специальной теорией относительности, для вашего полета практически не существовало. Здесь вас переносит в будущее именно Машина Времени.

Наконец, подчеркнем еще следующее. Для того, чтобы переноситься в прошлое или будущее с помощью Машины Времени, обязательно надо двигаться! Нельзя, подобно герою повести Г. Уэллса, неподвижно сидеть в кресле «машины», оставаясь все время на одном месте, и ощущать лишь ее тряску. В нашем случае надо перемещаться во внешнем пространстве и по «тоннелю». При этом, чтобы попасть, например, в прошлое,

скорость движения должна быть все же не очень малой. Иначе долгие годы путешествия скрадуют тот промежуток времени перемещения в прошлое, которое дает Машина Времени.

И еще одно обстоятельство. Если вы пожелаете отправиться в достаточно далекое прошлое, вам придется повторить несколько раз свое путешествие сквозь Машину Времени. Однако с помощью описанной конструкции можно отправиться только в такое прошлое, в котором Машина Времени уже существовала. Скажем, если когда-нибудь и будет создана Машина Времени, то отправиться с ее помощью в каменный век невозможно, так как заведомо известно, что в том веке Машин Времени не было.

В начале осени 1988 года К. Торн в очередной раз приехал в Москву (он является почетным доктором Московского университета). Тот месяц, который он провел в нашей стране, мы усиленно обсуждали проблему Машины Времени. Нас особенно интересовал вопрос о последствиях, которые возникнут из-за возможности получать информацию из будущего. Ведь человек, вернувшийся из будущего в прошлое, может встретить самого себя в молодости. Читатель легко может вообразить, сколь необычные ситуации при этом могут возникнуть.

Впрочем, не надо специально что-либо воображать. Писатели-фантасты уже давно описали подобные встречи. Правда, авторы часто далеки в своих повествованиях от научной логики и нагромождают кучу нелепиц. Но встречаются и романисты-ученые, у которых такие ситуации выглядят чрезвычайно интересно. Одно из лучших произведений такого рода — «Конец вечности» А. Азимова. В нем герой — Харлан — принадлежит к касте людей, которые могут путешествовать по времени. Однажды он вернулся в то место и в тот момент времени, где уже побывал: «Он встретил самого себя! В один и тот же момент Времени и почти в одном и том же месте он встретил другого, более раннего Харлана, чуть было ни столкнулся с ним лицом к лицу».

Из романа можно узнать, что последовало за такой встречей. Я же хочу обратить внимание на совершенно новое обстоятельство, которое здесь возникает. При существовании «петли времени» мы не можем разделить события в этой «петле» на будущие и прошлые. Чтобы пояснить сказанное, рассмотрим такой пример.

Пусть я иду в длинном ряду людей, шагающих вдоль

некоторой прямой линии. Я могу определенно сказать, кто из них идет впереди меня, а кто позади. Если же все мы идем по кругу, то я могу сказать только относительно ближайших соседей, кто из них впереди, а кто сзади, но для всего ряда это сделать уже не смогу. Перебирая людей все дальше впереди меня, я обойду весь круг и подойду к своему месту с противоположной стороны, то есть со стороны идущих, которые позади меня. Поэтому для людей,двигающихся по кругу, нет деления на «впереди идущих» и «позади идущих».

Точно так же и в «петле времени». О близлежащих событиях можно сказать, какие из них в будущем, какие в прошлом. Однако в целом во всей замкнутой «петле» этого сказать нельзя. Здесь в целом нет будущего и прошлого, все события влияют друг на друга по кругу.

Пусть путешественник с помощью Машины Времени возвращается в прошлое и встречает самого себя в молодости. Тогда, очевидно, придется сделать вывод, что, когда он был молодым, то уже встретил самого себя в более старом возрасте, вернувшегося из будущего.

Этот простейший пример показывает, насколько сильно меняется ситуация при наличии Машины Времени. Мы должны пересмотреть многие понятия, которые были раньше очевидны, но теперь в корне меняются.

Разумеется, мы не будем здесь проводить такое рассмотрение, это слишком сложно. Да и физики сами только начали над всем этим работать.

И еще надо подчеркнуть, что некоторые из них, в том числе и известные, вообще резко отрицательно относятся ко всей этой деятельности.

Только будущие исследования покажут, кто здесь прав. Как сказал Шекспир:

И замыслы с размахом и почином  
Меняют путь и терпят неуспех.

Я принадлежу к оптимистам и верю в огромные возможности этого нового направления.

Что же касается практического осуществления теоретических идей, то я хотел бы в заключение этой непростой главы напомнить следующее. В. Райт писал в 1901 году: «Человек научится летать не раньше, чем через тысячу лет». Между тем первые полеты братьев Райт были осуществлены в 1903 году. А сегодня мы уже достигли планет!

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*И все же, все же очень много неизвестного в тайне времени. Несмотря на тысячелетия истории науки, мы находимся лишь в самом начале пути познания сущности временного потока.*

*Очень медленно, по крупицам, собирались знания об этой «великой реке». Древнегреческая наука выделила понятие времени как самостоятельную категорию, как всеобщее свойство, присущее всем вещам и явлениям материального мира. Она же установила, что время не движется по кругу, оно не циклично, а неумолимо течет в одном направлении от прошлого к будущему.*

*Законы классической физики, нашедшие наиболее полное выражение в трудах И. Ньютона, отводили времени роль пустой длительности без начала и конца, вечно текущей в неизменном темпе независимо от каких бы то ни было событий, происходящих в мире.*

*Революция в физике, начавшаяся столетие назад, и последующее стремительное развитие этой науки привели к ряду удивительных открытий. Мы теперь знаем, что на темп течения времени можно влиять. Можно в принципе совершать «полеты» в далекое будущее, и, вероятно, можно перемещаться по «реке времени» и «против течения» — в прошлое, хотя технически эти возможности пока не реализованы.*

*Наукой установлено, что в первые мгновения рождения нашей Вселенной свойства времени были совсем иными, чем сейчас. Время тогда распадалось на кванты. Совершенно необычно время и внутри черных дыр, открытых астрономами во Вселенной. Там в самом их центре оно также дробится на отдельные «капли». Постепенно физика проясняет вопрос, почему время непрерывно течет и не может остановиться.*

*Но чем дальше продвигается наука, чем больше раскрывает тайн, тем больше новых, еще более серьезных проблем встает перед нею. В этой книге мы старались рассказать лишь об одном, но очень интересном направлении этого вечного движения.*

*К моему большому удивлению, некоторые известные физики и раньше и сегодня придерживаются мнения, что путь интенсивного открытия новых закономерностей не бесконечен, что рано или поздно все важнейшие фи-*

зические законы будут открыты. Так один из создателей квантовой электродинамики лауреат Нобелевской премии Р. Фейнман пишет: «Не может быть, чтобы это движение вперед продолжалось вечно и чтобы мы могли открывать все новые и новые законы. Ведь если бы это было так, то нам быстро надоело бы все это бесконечное наслаждение знаниями... Нам необыкновенно повезло, что мы живем в век, когда еще можно делать открытия. Это как открытие Америки, которую открывают раз и навсегда. Век, в который мы живем, это век открытия основных законов природы, и это время уже никогда не повторится. Это удивительное время, время волнений и восторгов, но этому наступит конец».

Побудительной причиной подобных настроений является, вероятно, окончание какого-то большого исторического периода в физических исследованиях, как например, завершение периода классической физики Ньютона и Максвелла или завершение создания квантовой электродинамики.

Но за окончанием одного, пусть и весьма знаменательного этапа в физике начинается новый. Большинство физиков не разделяет мнения о возможном конце науки. Можно привести слова известного советского физика М. Маркова, что «перед нами возникает действительно новый и в определенном смысле блистательный период в науке». Я верю также, что в этом новом периоде видное место будет принадлежать изучению тайн пространства и времени.

Сейчас перед исследователями стоит задача понять, почему время одномерно, каковы связи его свойств с общими свойствами Вселенной. Наконец, ставится задача реального осуществления «полетов» во времени и в будущее и в прошлое.

Пока существует человечество, оно будет стремиться к новым знаниям и делать новые открытия!



## СОДЕРЖАНИЕ

Вместо предисловия . . . . .	3
Первые мысли о времени . . . . .	9
Начало науки о времени . . . . .	19
Свет . . . . .	40
Бег времени можно замедлить! . . . . .	48
Машина времени . . . . .	66
Время, пространство и тяготение . . . . .	76
Дыры в пространстве и времени . . . . .	88
Энергия из черных дыр . . . . .	117
К истокам реки времени . . . . .	126
Путешествие в необычные глубины . . . . .	136
Великое объединение . . . . .	146
Истоки . . . . .	164
Наша Вселенная в будущих потоках реки времени .	179
Почему время течет и почему в одном направлении?	190
Против течения . . . . .	208
Заключение . . . . .	236

**Новиков И. Д.**

**Н 73** Куда течет река времени? — М. : Мол. гвардия, 1990. — 238[2] с., ил. — (Эврика).

**ISBN 5-235-00805-7**

Занимательный рассказ о развитии одного из фундаментальных физических понятий — понятия времени, о различных свойствах времени, их значении для исследования проблем физики элементарных частиц сверхвысоких энергий, проблем астрофизики, а также совершенствования новейших технологий. Читатели познакомятся с выдающимися учеными, посвятившими жизнь изучению всех этих вопросов.

**Н**  $\frac{1604010000-094}{078(02)-90}$ —240—90

**ББК 22.313**

ИБ № 6365

**Новиков Игорь Дмитриевич**

**КУДА ТЕЧЕТ РЕКА ВРЕМЕНИ?**

Заведующий редакцией **В. Щербанов**

Редактор **В. Федченко**

Художник **К. Мошкин**

Художественный редактор **Б. Федотов**

Технический редактор **Н. Тихонова**

Корректоры **Н. Овсяникова, Н. Хасаия**

Сдано в набор 28.08.89. Подписано в печать 03.01.90. А02704.  
Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага типографская № 2. Гарнитура  
«Литературная». Печать высокая. Условн. печ. л. 12,6. Услови.  
кр.-отт. 13,02. Учетно-изд. л. 13,1. Тираж 100 000 экз. Цена  
85 коп. Заказ 2133.

Типография ордена Трудового Красного Знамени издательско-  
полиграфического объединения ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия».  
103030, Москва, К-30, Сущевская, 21.

**ISBN 5-235-00805-7**