



ДЖ. АЛЬ-ХАЛИЛИ

ПАРАДОКС ДЕВЯТЬ ВЕЛИКИХ ЗАГАДОК ФИЗИКИ



 ПИТЕР®

Paradox

The Nine Greatest Enigmas in Science

Professor Jim Al-Khalili



BANTAM PRESS

LONDON • TORONTO • SYDNEY • AUCKLAND • JOHANNESBURG

ДЖ. АЛЬ-ХАЛИЛИ

ПАРАДОКС

ДЕВЯТЬ ВЕЛИКИХ ЗАГАДОК ФИЗИКИ



Санкт-Петербург • Москва • Екатеринбург • Воронеж
Нижний Новгород • Ростов-на-Дону
Самара • Минск

2018

ББК 22.3

УДК 53

A56

Аль-Халили Дж.

A56 Парадокс. Девять великих загадок физики. — СПб.: Питер, 2018. — 288 с.: ил.

ISBN 978-5-4461-0841-1

— Галилей, ты что, утверждаешь, что Земля вертится?

— Да... понимаете?

— Что, и ратуша наша вертится?!

— Именно так. Позвольте пояснить...

— Галилей, да что за глупость тебе привиделась! Ратуша триста лет на месте стоит.

Всем, кто безнадежно и безуспешно пытается увязать современную науку со здравым смыслом, господин Аль-Халили ответственно заявляет: бросьте, иногда это попросту невозможно. Потому-то настоящая наука так интересна, загадочна и... парадоксальна!

16+ (В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.)

ББК 22.3

УДК 53

Права на издание получены по соглашению с Broadway Press. Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-0307986795 англ.

ISBN 978-5-4461-0841-1

© Jim Al-Khalili 2012

© Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2018

© Издание на русском языке, оформление
ООО Издательство «Питер», 2018

Оглавление

Предисловие	9
Глава 1. Парадокс Монти Холла	16
Потерянный доллар	17
Парадокс ящиков Бертрана	19
Парадокс дней рождения	21
Парадокс Монти Холла	25
Проверка вероятностей	31
Доказательство без математики, с точки зрения здорового смысла	34
Почему для нас так важно, что Монти Холл знает, за какой дверью находится автомобиль?	36
Пока не попробуешь — не поймешь	39
Глава 2. Ахиллес и черепаха	41
Ахиллес и черепаха	44
Дихотомия	48

Стадион.....	53
Стрела	55
Парадокс Зенона и квантовая механика	57
Глава 3. Парадокс Ольберса	64
Бесконечное множество звезд.....	71
Наша расширяющаяся Вселенная	78
Доказательство Большого взрыва	83
Окончательное решение	85
Окончательное решение и доказательство Большого взрыва	89
Глава 4. Демон Максвелла	91
Все раскручивается, смешивается и скатывается по наклонной....	97
Обратный клапан.....	104
Но демон куда умнее....	109
Что вообще означает слово «случайно»?.....	113
Вечные двигатели.....	117
Демон Максвелла и квантовая механика.....	121
Глава 5. Парадокс шеста и сарая	124
Лекция о природе света.....	129
Сокращающиеся расстояния.....	137
Галактические путешествия.....	139
Возвращаясь к шесту и сараю	142
Глава 6. Парадокс близнецов.....	149
Что есть время?.....	153
Замедление времени	157

Решение парадокса близнецов	167
Самая счастливая мысль в его жизни	170
Глядя на часы	172
Экономвариант путешествий во времени	174
Глава 7. Парадокс дедушки	176
Как попасть в прошлое?	181
Быстрее света	183
Блок-вселенная	187
Путешествия во времени в блок-вселенной	190
Возможное решение парадоксов путешествий во времени	191
Настоящие путешествия во времени возможны только в мультивселенной	194
Соединяя вселенные	198
Куда подевались все путешественники во времени?	200
Глава 8. Парадокс демона Лапласа	203
Детерминизм	209
Эффект бабочки	211
Хаос	215
Свобода воли	218
Квантовый мир — наконец случайность?	221
Подведем итоги	225
Глава 9. Парадокс кота Шрёдингера	226
Эрвин Шрёдингер	231
Квантовая суперпозиция	234

Проблема измерений	239
Отчаянные попытки	242
Потеря квантовых свойств	246
Глава 10. Парадокс Ферми	251
Дрейк и его уравнение	257
Проект SETI	259
Экзопланеты	264
Насколько мы особенные?	268
Антропный принцип	274
Глава 11. Вопросы, оставшиеся без ответов	278
Об авторе	285

Предисловие

Парадоксы предстают перед нами во всем своем разнообразии. В то время как некоторые из них — незамысловатые логические задачи с небольшим потенциалом для исследования, иной парадокс может оказаться только вершиной айсберга целой научной отрасли. Многие можно решить путем внимательного разбора допущений, лежащих в их основе (одно или даже несколько могут быть ложными). Строго говоря, такие парадоксы вообще не стоит так называть, поскольку задача, к которой найдено решение, уже не может считаться парадоксом.

Настоящим парадоксом называется утверждение, которое приводит к порочному кругу (круговой аргументации, противоречащей самой себе) или описывает ситуацию, невозможную с точки зрения логики. Но существует тенденция употреблять слово «парадокс» в более широком контексте, включающем то, что я предпочитаю называть мнимым парадоксом. У таких головоломок есть решение. Иногда эти парадоксы содержат уловку или хитрый ход, который специально должен сбить читателя или слушателя с правильного пути. Стоит раскрыть этот трюк — и противоречие или логическая абсурдность исчезают. Другая разновидность

мнимого парадокса представляет собой утверждение и выводы из него, которые, хотя изначально и выглядят абсурдно или по меньшей мере противоречат интуиции, при более внимательном рассмотрении перестают казаться таковыми, даже если следствия из них все еще выглядят несколько неожиданно.

Кроме того, существует категория парадоксов в физике. Все (или почти все) такие парадоксы можно решить с помощью фундаментальных научных знаний. Именно об этой разновидности парадоксов я хочу поговорить в книге.

Итак, давайте вначале вкратце рассмотрим, что такое настоящий логический парадокс, просто чтобы разобраться, о чем я не собираюсь вам здесь рассказывать. Настоящий парадокс — это утверждение, сформулированное таким образом, что образуется порочный круг, из которого действительно нет никакого выхода.

Вот, к примеру, простое утверждение: «Это высказывание ложно». Думаю, при первом прочтении эти слова выглядят довольно незамысловато. Но подумайте о значении этой фразы, как только вы вникнете в следствия из нее — логический парадокс станет очевиден. Могут ли три простых слова вызвать настоящую головную боль? Если да, я бы поспорил, что это забавная разновидность боли, сама по себе парадоксальная, которой вы, без сомнения, с садистским удовольствием поделитесь с родными и друзьями.

Как видите, утверждение, гласящее, что «Это высказывание ложно», объявляя себя ложью, само по себе должно быть ложью, а следовательно, оно не ложно — в таком случае оно правдиво, что означает, что оно на самом деле ложно, что означает, что оно не ложно — и так далее по бесконечному кругу.

Существует множество таких парадоксов, но эта книга не о них.

Вместо этого я расскажу вам о своих излюбленных загадках и головоломках в науке, каждая из которых известна как парадокс, но при внимательном взгляде на проблему под правильным углом уже не может называться парадоксом. Хотя на первых порах они противоречат здравому смыслу, каждый раз оказывается, что в их аргументации не учтен какой-то трудноуловимый аспект физики, приняв во внимание который, мы выбиваем одну из опор, на которых стоит парадокс, и все его величественное здание рушится. Несмотря на найденные решения, многие из них продолжают называться парадоксами. Частично виной тому печальная известность, которую они приобрели, когда были впервые сформулированы (до того как мы выяснили, где же кроется ошибка). Кроме того, преподнося их таким образом, мы получаем полезные инструменты, с помощью которых ученые постигают некоторые довольно сложные идеи. Еще дело в том, что их разгадывание доставляет массу удовольствия.

Многие загадки, о которых мы поговорим, на первый взгляд действительно производят впечатление настоящих, а не мнимых парадоксов. Дело вот в чем. Возьмем, к примеру, упрощенную версию знаменитого парадокса путешественника во времени: что, если бы вы вернулись во времени в прошлое и убили более молодую версию самого себя? Что случится с вами — убийцей? Вы выскочите из реальности, поскольку не позволили самому себе вырасти? В этом случае вы так и не достигли возраста, в котором стали убийцей, путешествующим во времени; кто же тогда убил более молодую версию вас? Старший вы имеете безупречное алиби: вы никогда не существовали! Итак, если вы не дожили до путешествия назад во времени и убийства младшего себя,

то вы не убили младшего себя, а значит, дожили до того возраста, когда отправились назад во времени и убили себя, значит, вы сделали это, значит, вы не дожили — и так далее. Выглядит как идеальный логический парадокс. Физики пока не исключили полностью возможность путешествий во времени, разумеется, только в теории. Так как же нам выбраться из порочного круга этого парадокса? Данный конкретный случай я разберу в главе 7.

Не все мнимые парадоксы требуют для своего решения научных знаний. Чтобы это продемонстрировать, я посвятил главу 1 нескольким мнимым парадоксам, которые поддаются решению с использованием одного лишь здравого смысла и логики. Что я имею в виду? Представьте себе простой статистический парадокс, в котором довольно легко сделать неверный вывод, исходя из базовой корреляции: известно, что в городах с большим количеством церквей обычно выше уровень преступности. Звучит довольно парадоксально, если только вы не считаете, что церковь поощряет преступность и беззаконие, что звучит довольно сомнительно независимо от вашего отношения к религии и морали. Но разгадка очень проста. Для городов с большим населением естественным образом характерны как большее количество церквей, так и более высокие абсолютные показатели преступности.

То, что В следует из А и С следует из А, не означает, что С следует из В и наоборот.

Вот еще один пример простой головоломки, которая при первом прочтении кажется парадоксальной, но объяснение устраняет эту парадоксальность. Ее мне изложил несколько лет назад мой коллега и близкий друг профессор физики из Шотландии. Он заявил, что «всякий шотландец, приезжающий на юг, в Англию, повышает средний показатель

IQ обеих стран». Суть заключается вот в чем: поскольку все шотландцы заявляют, что они умнее англичан, то всякий шотландец, проживающий в Англии, повысит средний уровень IQ ее обитателей, однако покидать Шотландию — настолько глупая затея, что лишь самые глупые из шотландцев пойдут на такое, тем самым слегка повышая средний показатель IQ по Шотландии. Как видите, на первый взгляд это утверждение звучит довольно парадоксально, однако благодаря простой логической аргументации находится прекрасное решение — хоть и неубедительное с точки зрения англичан, конечно.

После того как мы немного позабавимся в главе 1, разобрав несколько хорошо известных парадоксов, которые можно решить без привлечения науки, мы перейдем к девяти парадоксам физики, которые я отобрал для вас. Сформулировав очередной парадокс, я буду вскрывать его истинную природу. Я покажу, как парадоксы рассеиваются словно дым, стоит только обнажить лежащую в основе логику, которая оказывается ошибочной, либо объяснить, почему на самом деле они не представляют собой проблему. Все эти парадоксы довольно интересны, поскольку дают пищу для ума, а также потому, что у них есть решение. Чтобы парадокс перестал быть парадоксом, нужно знать, куда смотреть, где искать ахиллесову пяту, которую можно осторожно прощупать, вооружившись углубленным пониманием науки.

Названия некоторых парадоксов вам знакомы. К примеру, парадокс кота Шрёдингера, заключающийся в том, что несчастное животное закрыли в герметичной коробке, и, пока мы ее не откроем, кот будет одновременно и жив и мертв. Менее известный, но все же знакомый многим демон Максвелла — мифическое существо, заседающее в другой герметичной коробке; оно, похоже, способно нарушать второй

закон термодинамики, упорядочивая содержимое этой коробки. Чтобы понять эти парадоксы и их решения, понадобится некоторая научная подготовка. Так что я поставил перед собой задачу как можно четче и без лишней суеты изложить вам эти научные идеи, чтобы вы смогли по достоинству оценить выводы из них, не погружаясь в глубины математического анализа, термодинамики и квантовой механики.

В этой книге я собрал также несколько парадоксов из университетского курса теории относительности, который я преподаю вот уже 14 лет. К примеру, идеи Эйнштейна о пространстве и времени стали плодородной почвой для таких логических головоломок, как парадокс шеста и сарая (также известен как парадокс амбара и жерди), парадокс близнецов и парадокс убитого дедушки. В других же парадоксах, например в тех, которые касаются кота и демона, по мнению некоторых, уже давно пора с чувством выполненного долга поставить точку.

Когда я подбирал претендентов в свой список величайших загадок физики, то не ставил целью изложить самые главные нерешенные проблемы науки (какова природа темной материи и энергии, из которых состоит 95 % Вселенной, или что было (если вообще было) до Большого взрыва). Это чрезвычайно трудные и глубокие вопросы — их решение ученым еще только предстоит отыскать. Кое-какие из этих загадок (например, состав темной материи, на которую приходится большая часть массы галактик), вполне возможно, будут решены в ближайшем будущем, если мы продолжим совершать новые захватывающие открытия с помощью ускорителей частиц, подобных Большому адронному коллайдеру. Другие же загадки, такие как точное описание того, что было до Большого взрыва, может быть, так и не будут решены никогда.

Чего я хотел добиться в этой книге, так это составить достаточно широкую и толковую выборку. Все парадоксы, о которых мы будем говорить, имеют отношение к глубоким вопросам природы времени и пространства, а также характеристик Вселенной в очень больших и очень малых масштабах. Некоторые из них предсказывают теории, которые на первый взгляд кажутся очень странными, но проясняются, если внимательно разобраться в идеях, лежащих за ними. Давайте-ка посмотрим, не получится ли у нас положить конец всем этим парадоксам, а в процессе, дорогой читатель, получим массу удовольствия от расширения кругозора.

Глава 1

Парадокс Монти Холла

Простые вероятности, способные свести с ума

Прежде чем углубиться в физику, думаю, для разминки я ознакомлю вас с несколькими простыми занимательными и обескураживающими загадками. Как и все остальные примеры, которые я разбираю в этой книге, на самом деле это не парадоксы — к этим загадкам просто нужен правильный подход. Но, в отличие от последующих парадоксов, для решения которых понадобится понимание лежащих в их основе физических процессов, парадоксы, представленные в данной главе, — это просто головоломки, их можно решить, не имея никакой научной базы. Последний и наиболее восхитительный из них, известный как парадокс Монти Холла, настолько сбивает с толку, что я приложу немалые усилия и проанализирую его с разных сторон, чтобы вы смогли выбрать решение, которое вам больше всего подходит.

Все загадки в этой главе подпадают под одну из двух категорий — истинные и мнимые. Истинный парадокс приводит нас к выводу, который противоречит интуиции, потому что

выходит за рамки здравого смысла, но все же его можно разрешить с помощью выверенной, зачастую обманчиво простой логики. На деле основное удовольствие здесь заключается в том, чтобы доказать, что это правда, несмотря на мучительное, неприятное чувство, что где-то есть уловка. В эту группу входят парадокс дней рождения и парадокс Монти Холла.

С другой стороны, мнимый парадокс сначала выглядит абсолютно логичным, но каким-то образом в конце получается абсурдный результат. Однако в этом случае очевидно абсурдный результат на самом деле ложен, к нему приводит некоторое трудноуловимое заблуждение или ошибочный шаг в доказательстве.

Примерами мнимых парадоксов служат математические трюки, которые путем нескольких алгебраических действий «доказывают» что-нибудь наподобие $2 = 1$. Никакая логика и никакие умствования не должны убедить вас, что это может быть правдой. Я не стану уделять им внимание в этой книге в основном потому, что мне действительно не хочется обрушивать на вас алгебру (на случай, если вдруг вы не разделяете моей любви к ней). Достаточно будет сказать, что расчеты, приводящие к такому «решению», обычно включают деление на ноль — действие, которого любой уважающий себя математик избегает как огня. Вместо этого я останавливаюсь на нескольких задачах, которые вы сможете оценить, даже обладая минимальным багажом математических знаний. Я начну с двух великолепных мнимых парадоксов — загадки про потерянный доллар и парадокса ящиков Бертрана.

Потерянный доллар

Это чудесная задачка, которую я использовал несколько лет тому назад, когда участвовал в телевизионном шоу «Игры

разума». Разумеется, я не утверждаю, что первым предложил ее. Суть шоу заключается в том, что каждую неделю участники соревнуются друг с другом в решении загадок, которые загадывает им ведущий — математик Маркус дю Сотой. Вдобавок участники должны попытаться сбить с толку команду соперников собственной излюбленной головоломкой.

Вот в чем ее суть.

Трое путешественников заселяются в отель. Администратор предлагает за 30 долларов номер с тремя кроватями. Они договариваются заплатить поровну, каждый по 10 долларов, берут ключ и отправляются в комнату. Через несколько минут администратор понимает, что ошибся. На этой неделе в гостинице действует специальное предложение, и он должен был взять с гостей за комнату 25 долларов. Итак, чтобы избежать неприятностей с менеджером, он хватает из кассы пять долларовых купюр и спешит исправлять свою ошибку. По пути он понимает, что не сможет разделить 5 долларов поровну между троими, поэтому решает дать каждому по доллару, а два оставить себе. Таким образом, рассуждает он, никто не останется в обиде. Здесь и возникает проблема, с которой нам предстоит разобраться. Выходит, что каждый из троих друзей заплатил за проживание 9 долларов. Всего получается 27 долларов, которые получил отель, плюс еще 2 доллара, которые забрал администратор, всего выходит 29. Куда же делся последний доллар из первоначальных 30?

Не исключено, что вы с ходу сможете увидеть решение. У меня определенно не получилось, когда я впервые услышал эту загадку. Так что я дам вам немного времени подумать над ней, прежде чем вы продолжите читать.

Разобрались? Теперь вы понимаете, эта задачка только выглядит парадоксальной из-за сбивающего хода, который в ней

заключен. Ошибка в рассуждениях заключается в том, что я прибавил к 27 долларам 2 доллара, которые взял администратор. Это бессмысленно, поскольку общей учтенной суммы 30 долларов больше не существует. Два доллара, которые взял администратор, нужно *отнять* от 27 долларов, заплаченных друзьями, и у нас останутся те самые 25 долларов, лежащие в кассе.

Парадокс ящиков Бертрана

Вторым примером мнимого парадокса я обязан французскому математику Жозефу Бертрану, жившему в XIX веке. Он автор еще одного, более известного парадокса, который несколько сложнее предыдущего примера с математической точки зрения.

У вас есть три ящика, в каждом лежат по две монеты (рис. 1.1). Каждый ящик разделен на два отсека перегородкой (с каждой ее стороны лежит по монете). Каждую часть ящика можно открыть отдельно, чтобы посмотреть на монетку внутри (не имея возможности увидеть вторую монету). В одном ящике лежат две золотые монеты (обозначим его 33), во втором — две серебряные (СС), а в третьем — одна золотая и одна серебряная (ЗС). Какова вероятность, что в ящике, который вы выберете, окажутся золотая и серебряная монеты? Ответ, конечно же, прост: 1 к 3. Загадка заключается не в этом.

Теперь случайным образом выберите один ящик. Что, если вы откроете его с одной стороны и увидите золотую монету? Каковы теперь шансы, что это ящик ЗС? Что ж, поскольку вы видите золотую монету, это не может быть ящик СС, вы исключаете этот вариант и у вас остаются два варианта: это либо ящик 33, либо ящик ЗС. Следовательно, вероятность того, что это ящик ЗС, равна 1 к 2, не так ли?

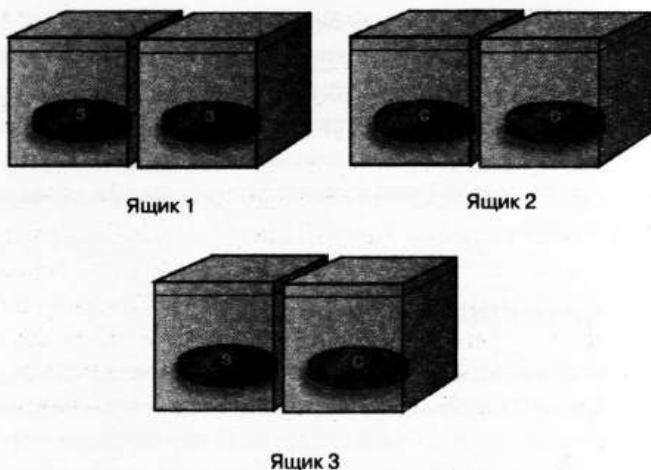


Рис. 1.1. Ящики Бертрانا

Если же вы открыли крышку и увидели серебряную монету, можете исключить вариант ЗЗ. У вас остается СС и ЗС, и вероятность того, что это ящик ЗС, снова 1 к 2.

Когда вы откроете крышку выбранного ящика и найдете там либо золотую, либо серебряную монету (поскольку всего есть три монеты каждого вида, что дает вам равные шансы найти ту или иную монету), вероятность того, что это ящик ЗС, 1 к 2. Таким образом, после того, как вы заглянули в половину выбранного вами ящика, вероятность того, что это ящик ЗС, должна из 1 к 3, как это было вначале, превратиться в 1 к 2. Но как может получиться, что, увидев одну монету, вы настолько изменили вероятность? Если вы выбираете ящик случайным образом и до того, как открыть крышку, знаете, что с вероятностью 1 к 3 это ящик ЗС, то как же, взглянув на одну монету и не получив никакой новой информации (поскольку вы уверены, что в любом случае найдете золотую или серебряную

монету), удастся превратить вероятность 1 к 3 в 1 к 2? Где мы допускаем ошибку?

Ответ заключается в том, что вероятность всегда будет 1 к 3 и не превратится в 1 к 2 независимо от того, увидели ли вы монетку в ящике. Всего есть три золотые монеты, давайте назовем их 3а, 3б и 3в, и пусть ящик 33 содержит монеты 3а и 3б, а монета 3в находится в ящике 3С. Если вы откроете один из ящиков и найдете там золотую монету, вероятность того, что вы открыли ящик 33, составит 2 к 3, поскольку монета, которую вы видите, может быть монетой 3а или 3б. Вероятность того, что это монета 3в, равна всего лишь 1 к 3, следовательно, такова же вероятность того, что вы выбрали ящик 3С.

Парадокс дней рождения

Это один из самых известных истинных парадоксов. В отличие от двух предыдущих примеров здесь нет никакого подвоха, нет ошибки в умозаключениях или уловки в изложении. Убедит вас объяснение или нет, я должен подчеркнуть, что оно абсолютно корректно и последовательно как с математической стороны, так и с точки зрения логики. Ощущение недоумения некоторым образом даже делает этот парадокс более интересным.

Вот как он формулируется.

Сколько людей, по-вашему, должно собраться в комнате, чтобы шансы того, что двое из них родились в один и тот же день, были выше, чем 50 на 50, то есть чтобы они были выше вероятности, что в этой группе не найдется двух людей с одинаковым числом и месяцем дня рождения?

Давайте сначала обратимся к простому здравому смыслу (который, разумеется, приведет нас к ошибке). Поскольку в году

365 дней, представим себе лекционный зал с 365 пустыми креслами. В зал заходит сотня студентов, и каждый из них занимает случайное место. Друзья, возможно, захотят сесть рядом, несколько человек предпочтут незаметно подремать на задних рядах, а более прилежные студенты сядут ближе к лектору. Но не важно, как они распределятся по аудитории, факт в том, что более двух третей мест останутся незанятыми. Конечно, никто из студентов не сядет в кресло, которое уже занято, но мы как будто чувствуем, что вероятность того, что двое студентов захотят сесть на одно и то же место, невелика, учитывая, как много свободных кресел вокруг.

Если теперь мы применим этот практичный подход к задаче с днями рождения, то может показаться, что вероятность того, что любые двое студентов из ста родились в один день, настолько же мала (учитывая, что дней в году столько же, сколько кресел в аудитории). Разумеется, и здесь могут найтись люди, родившиеся в один день, но чисто интуитивно нам покажется, что это не так вероятно.

Конечно, если у нас будет группа, состоящая из 366 человек (високосные годы не учитываем), не нужно объяснять, почему мы можем быть уверены, что как минимум у двоих день рождения выпадет на один и тот же день. Но с меньшим числом людей все становится намного интереснее.

На самом деле, как бы это неожиданно ни звучало, вам потребуется всего лишь 57 человек, чтобы вероятность того, что у любых двоих из этой группы день рождения придется на один и тот же день, составила 99 %. То есть практически наверняка двое из них родились в один день!

Это звучит довольно неправдоподобно. Но что касается ответа на загадку, то число людей, свыше которого вероятность того, что у двух из них совпадет день рождения, будет больше,

чем вероятность того, что таких людей не найдется (то есть вероятность этого события больше 0,5), намного меньше, чем 57, достаточно всего лишь 23 человек!

Большинство людей, узнающих ответ, сильно удивляются и продолжают беспокоиться, поскольку на интуитивном уровне в это очень сложно поверить. Поэтому давайте разберемся с математической составляющей, которую я постараюсь представить как можно более понятной.

Во-первых, максимально упростим задачу: не будем учитывать високосные годы (так вероятность выпадения каждого дня будет одинаковой) и предположим, что в комнате нет двойняшек.

Типичная ошибка заключается в том, что многие сравнивают количество людей в комнате с количеством дней в году. Соответственно, поскольку на 23 человека приходится 365 дней, кажется намного более вероятным, что их дни рождения будут разбросаны далеко друг от друга, нежели наоборот. Но это обманчивый подход. Если нам нужны люди с одинаковыми днями рождения, мы будем рассматривать не отдельных людей, а пары и нам нужно оценить количество различных возможных пар. Давайте начнем с простейшего случая: у нас есть три человека и, соответственно, три пары. А–В, А–С и В–С. Но в группе из четырех человек у нас будет уже шесть пар: А–В, А–С, А–D, В–С, В–D, С–D. В группе из 23 человек у нас получится 253 различные пары¹. Видите, насколько проще поверить в то, что в одной из 253 пар окажутся люди, родившиеся в один и тот же день из 365?

¹ Существует математический способ вычисления этого, который называется биномиальным коэффициентом. В данном случае он записывается

$$\text{так: } \binom{23}{2} = \frac{23 \times 23}{2} = 253.$$

Чтобы правильно вычислить вероятность, нужно начать с одной пары и, продолжая добавлять людей, следить за тем, как изменяется вероятность появления пары с одинаковым днем рождения. Это делается не путем вычисления вероятности того, что двое родились в один день, а скорее путем вычисления вероятности того, что каждый последующий человек в группе все еще не желает разделить праздник с остальными.

Таким образом, вероятность того, что второй человек родился не в тот же день, что первый, равна $364 / 365$, поскольку ему предоставлены все дни в году, кроме одного. Тогда вероятность того, что третий человек родился не в тот же день, что первый или второй, равна $363 / 365$. Но не следует забывать, что первые двое тоже должны родиться не в один день (364×365). Согласно теории вероятностей, если мы хотим вычислить шансы того, что два различных события произошли одновременно, нужно перемножить вероятности этих событий. Итак, вероятность того, что второй человек родился не в один день с первым, а третий — не в один день с первым или вторым, равна $364/365 \times 363/365 = 0,9918$. Если такова вероятность того, что никто из них не родился в один день, то вероятность того, что это все-таки произошло, составляет $1 - 0,9918 = 0,0082$. Итак, вероятность того, что искомая пара найдется в группе из трех человек, довольно мала, чего и следовало ожидать.

Продолжим прибавлять людей по одному и умножать дроби одну за другой, высчитывая вероятность того, что ни один человек не родился в один день ни с кем из остальных, пока в ответе не получится число меньше 0,5, то есть 50 %. Это и есть точка, в которой вероятность того, что в группе найдется пара людей с одинаковым днем рождения, поднимается выше 50 %. Для этого потребуется 23 дроби, следовательно, нужны 23 человека.

$$\frac{364}{365} \times \frac{363}{365} \times \frac{362}{365} \times \frac{361}{365} \times \frac{360}{365} \times \dots = 0,4927\dots$$

← 23 дроби, перемноженные между собой →

Итак, вероятность того, что любые двое из 23 человек в одной комнате родились в один и тот же день, равна:

$$1 - 0,4927 = 0,5073 = 50,73 \, \%.$$

Для решения этой головоломки требуется некоторое знакомство с теорией вероятностей. Следующая головоломка в каком-то смысле более проста, и это, по-моему, делает ее еще более потрясающей. Это мой любимый истинный парадокс, потому что его очень легко сформулировать, очень легко объяснить и при этом крайне сложно осознать.

Парадокс Монти Холла

Эта головоломка связана с парадоксом ящиков Бертрана и демонстрирует всю мощь явления, которое математики называют условной вероятностью. Она основана на более старой загадке, называемой задачей трех узников, описанной американским математиком Мартином Гарднером в 1959 году в его колонке «Математические игры», которую он вел в журнале «Сайнтифик Американ». Но парадокс Монти Холла кажется мне более удачной и понятной адаптацией. Такое название он получил, потому что впервые появился в виде сценария американского телешоу *Let's Make a Deal* («Давай заключим сделку») с харизматичным ведущим канадцем Монте Холлом, который после прихода в шоу-бизнес изменил имя на Монти.

Стив Селвин — американский статистик и профессор Калифорнийского университета в Беркли, знаменитый

педагог — получил несколько наград за свои методы преподавания и наставничества. Будучи научным сотрудником, он применил свои познания в математике в области медицины — в биостатистике. Однако мировую известность он получил не за эти значительные достижения, а благодаря написанной им занятой статье, посвященной парадоксу Монти Холла. Она была опубликована в февральском номере научного журнала «Американ Статистишн» («Американский статистик») в 1975 году и занимала всего лишь половину страницы.

Селвин и не предполагал, что эта короткая статья будет иметь такое огромное влияние, в конце концов «Американ Статистишн» был специализированным журналом, который читали преимущественно ученые и преподаватели. И в самом деле, пройдет еще 15 лет, прежде чем задача, сформулированная и решенная им, станет всеобщим достоянием.

В сентябре 1990 года один из читателей журнала «Парад», еженедельного американского издания, которое может похвастаться тиражом несколько десятков миллионов экземпляров, отправил в рубрику «Спросите Мэрилин» головоломку (в этой рубрике Мэрилин вос Савант отвечает на вопросы читателей и решает присланные ими математические задачи, головоломки и логические загадки). Савант стала известна в середине 1980-х, когда попала в Книгу рекордов Гиннеса как человек с самым высоким коэффициентом интеллекта (равным 185). Головоломку, о которой идет речь, отправил Крэйг Ф. Уитакер, по сути, он предложил Савант усовершенствованную версию парадокса Монти Холла, описанного Селвином. То, что последовало за этим, можно назвать из ряда вон выходящим.

Появление этой задачи в журнале «Парад» и ответ Мэрилин вос Савант приковали внимание вначале всей страны, а затем

и всего мира. Ответ Мэрилин, хоть и в высшей степени противоречащий интуиции, был, как и оригинальное решение Селвина, абсолютно правильным. Но он тут же вызвал бесконечный поток писем в журнал от разгневанных математиков, жаждущих указать ей на ошибку. Вот несколько цитат из этих писем.

«Как профессиональный математик, я крайне озабочен недостаточной математической подготовкой широкой общественности. Пожалуйста, окажите помощь: признайте свою ошибку и впредь будьте более внимательны».

«Вы облажались — и облажались знатно! Похоже, у вас проблемы с пониманием основного принципа, который работает в данном случае.... В этой стране и так остро стоит проблема математической безграмотности, и не хотелось бы, чтобы человек с самым высоким в мире IQ усугублял ее. Стыд и позор!»

«Могли ли вы взять на себя смелость посоветовать вам приобрести базовый учебник по теории вероятностей и заглянуть в него, прежде чем снова пытаться отвечать на вопросы такого типа?»

«Я шокирован тем, что даже после того, как вас поправили как минимум три математика, вы все еще не видите своей ошибки. Возможно, женщины смотрят на математические вопросы иначе, чем мужчины».

Столько разгневанных людей — и все они вскоре почувствуют себя очень глупо. В следующем выпуске Савант рассмотрела эту задачу еще раз, стоя на своем и аргументируя свою позицию четко и убедительно, чего и следует ожидать от человека, чей IQ равен 185. В конечном итоге эта история добралась до передовицы «Нью-Йорк Таймс», и споры разгорелись с новой силой (вы можете в этом убедиться, если поищите информацию в Интернете).

Возможно, вам начало казаться, что, поскольку этот парадокс так трудно разрешить, только гений может по-настоящему разобраться в нем, но это не так. На самом деле существует

множество простых способов объяснить его, и в Интернете полным-полно статей, блогов и даже видеозаписей на YouTube, в которых это делается.

В любом случае хватит уже дразнить вас и утомлять экскурсами в историю — давайте перейдем непосредственно к задаче. Мне кажется, будет честным начать с цитаты из оригинальной версии Стива Селвина, опубликованной в 1975 году в журнале «Американ Статистишн».

ПРОБЛЕМА ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Перед вами известное телешоу «Давай заключим сделку» с Монти Холлом.

Монти Холл: В одном из трех ящиков, подписанных А, В и С, находятся ключи к новому автомобилю «Линкольн Континенталь» 1975 года. Два других пусты. Если вы выберете ящик с ключами — автомобиль ваш.

Участник шоу: Ах!

Монти Холл: Выберите один из ящиков.

Участник шоу: Я выбираю ящик В.

Монти Холл: На столе остались ящики А и С, а вот ящик В (участник крепко хватается за ящик В). Возможно, ключи от автомобиля лежат в этом ящике! Я дам вам 100 долларов за этот ящик.

Участник шоу: Не надо, спасибо.

Монти Холл: Как насчет 250 долларов?

Участник шоу: Нет!

Публика: Нет!

Монти Холл: Вспомните, что вероятность того, что в вашем ящике лежат ключи от машины, равна 1 к 3, а вероятность того, что он пуст, равна 2 к 3. Я дам вам 500 долларов.

Публика: Нет!

Участник шоу: Нет, думаю, мне стоит оставить себе этот ящик.

Монти Холл: Я сделаю вам одолжение и открою один из оставшихся на столе ящичков (открывает ящик А). Он пуст! (Публика аплодирует.) Итак, ключи от автомобиля лежат либо в ящичке С, либо в вашем ящичке В. Поскольку осталось всего два ящичка, вероятность того, что именно в вашем ящичке лежат ключи, теперь равна 1 к 2. Я дам вам 1000 долларов за этот ящик.

ПОДОЖДИТЕ!!!

Прав ли Монти? Участник шоу знает, что по крайней мере один из ящичков на столе пуст. Теперь он знает, что это ящик А. Изменяется ли от этого вероятность того, что в его ящичке лежат ключи, с 1 к 3 до 1 к 2? Один из ящичков на столе должен быть пуст. Оказал ли Монти услугу участнику шоу, показав ему, какой из ящичков пуст? Чему равна вероятность выиграть автомобиль — 1 к 2 или 1 к 3?

Участник шоу: Я меняю свой ящик В на ящик С со стола.

Монти Холл: Странное решение!

НАМЕК. Участник шоу знает, что делает!

Стив Селвин

Школа общественного здравоохранения

Калифорнийский университет

Беркли, СА 94720

В приведенной выше статье Селвин опустил один существенный момент (значимость которого вскоре станет очевидной). Он не уточнил, что Монти Холл знает, в каком ящичке лежат ключи, а значит, всегда может открыть пустой ящик. Справедливости ради он говорит, что Монти Холл предлагает «оказать услугу и открыть один из оставшихся ящичков». Думаю, это можно считать свидетельством того, что Монти Холл прекрасно знает, что ящик, который он откроет, будет пуст, но, с другой стороны, я знаком с этим парадоксом. Хотя этот вопрос может показаться незначительным (в конце

концов, речь идет об участнике шоу, как же это может повлиять?), мы увидим, что решение полностью зависит от того, что знает Монти Холл.

В августовском выпуске «Американ Статистишин» 1975 года Селвину пришлось прояснить этот пункт, поскольку, как и Мэрилин вос Савант спустя 15 лет, он подвергся нападкам со стороны других математиков, никак не желавших принять его решение. Он писал:

«Я получил множество писем с комментариями к моей статье в "Письме к редактору" в февральском выпуске "Американ Статистишин" 1975 года, озаглавленной "Проблема вероятностей". Несколько подписчиков утверждают, что мой ответ неверен. В основе моего решения лежит факт, что Монти Холл знает, в каком из ящиков находятся ключи».

Чтобы вы смогли разобраться вопрос подробнее, вот более короткая и более известная версия из журнала «Парад» с минимальными изменениями. В этой версии вместо трех ящиков перед вами три двери (рис. 1.2, 1.3).

Предположим, вы участвуете в телевизионной игре и вам предстоит сделать выбор из трех дверей: А, В и С. За одной из дверей находится автомобиль, за двумя другими — козы.

Вы выбираете, к примеру, дверь А, и ведущий, знающий, что за какой дверью находится, открывает еще одну, скажем дверь В, за которой оказывается коза. Он говорит вам: «Хотите ли вы поменять решение и выбрать дверь С?» Выгодно ли вам изменить свой выбор?

Разумеется, мы предполагаем, что участник игры предпочтет автомобиль козе. Этот момент не прояснен, думается, что участник шоу не заядлый велосипедист, обожающий коз.

Мэрилин вос Савант, как и Стив Селвин за несколько лет до этого, ответила, что участник в любом случае должен изменить свой выбор, поскольку он удваивает вероятность выигрыша, вместо 1 к 3 получая вероятность 2 к 3. Но как это возможно? В этом вся загвоздка парадокса Монти Холла.

Разумеется, большинство участников, столкнувшись с таким выбором, будут гадать, нет ли здесь подвоха. Поскольку приз с одинаковой вероятностью может находиться за любой дверью, почему не последовать за своим первоначальным порывом и не остаться верным выбору двери А? Разумеется, автомобиль теперь находится либо за дверью А, либо за дверью С с одинаковой вероятностью и не должно быть вообще никакой разницы, сменит участник шоу дверь или нет.

Все это звучит довольно неоднозначно и сбивает с толку, теперь вам понятно, почему даже профессиональные математики поняли все неправильно. Вот несколько способов объяснения этого парадокса.

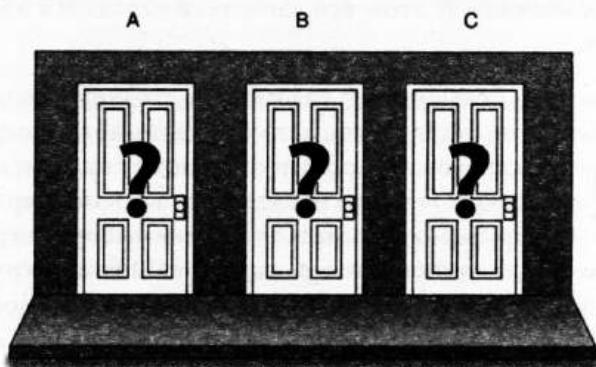
Проверка вероятностей

Это наиболее тщательный, методичный и надежный способ доказать, что, сменив дверь, вы удваиваете свои шансы на победу. Вспомните: изначально вы выбрали дверь А. Монти Холл, который знает, за какой дверью автомобиль, открывает одну из оставшихся дверей, за которой находится коза, и предлагает вам изменить выбор и выбрать дверь С.

Рассмотрим первый случай: вы предпочли дверь А.

Автомобиль может находиться за любой из трех дверей с одинаковой вероятностью.

Приз находится за одной из дверей.



Ведущий телеигры открывает дверь В, за которой находится коза. После этого вы продолжите придерживаться изначального выбора (дверь А) или измените его на дверь С?

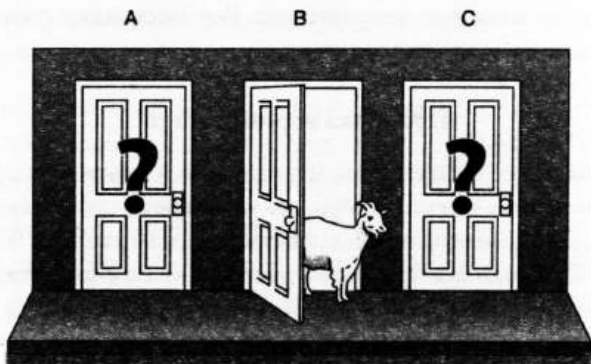
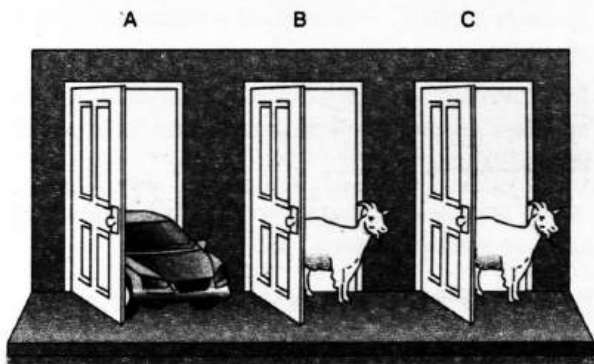
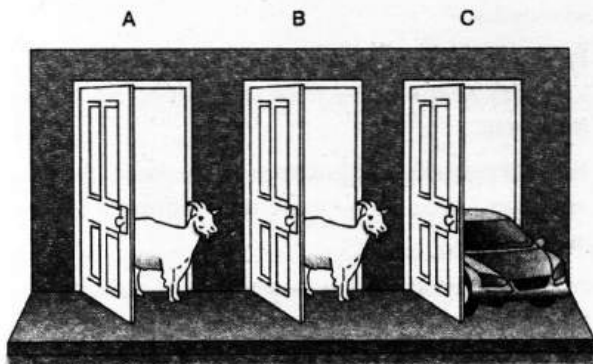


Рис. 1.2. Парадокс Монти Холла: задача

Если Монти Холл, который знает, за какой дверью автомобиль, открывает дверь В, за которой находится коза, то вероятность выиграть автомобиль, если вы не измените первоначальный выбор (дверь А), будет равна 1 к 3, но если вы измените выбор на дверь С, она станет 2 к 3.



Если вы останетесь при своем выборе (дверь А), вероятность будет равна 1 к 3.



Если вы измените выбор на дверь С, вероятность будет равна 2 к 3.

Рис. 1.3. Парадокс Монти Холла: ответ

- ✧ Если автомобиль находится за дверью А, то не имеет значения, какая из дверей (В или С) открыта, — вы *выиграли*.
- ✧ Если автомобиль находится за дверью В, ведущий открывает дверь С, — оставаясь верным выбору двери А, вы *проиграли*.
- ✧ Если автомобиль находится за дверью С, ведущий открывает дверь В, — придерживаясь выбора двери А, вы *проиграли*.

Итак, ваши шансы выиграть автомобиль, придерживаясь изначального выбора, равны 1 к 3.

Теперь рассмотрим вариант со сменой двери.

Автомобиль опять же может быть спрятан за любой из трех дверей с одинаковой вероятностью.

- ✧ Если автомобиль находится за дверью А, то не имеет значения, какая из дверей (В или С) открыта, — вы *проиграли*.
- ✧ Если автомобиль находится за дверью В, ведущий открывает дверь С, — изменив выбор на дверь В, вы *выиграли*.
- ✧ Если автомобиль находится за дверью С, ведущий открывает дверь В, — изменив выбор на дверь С, вы *выиграли*.

Итак, если вы смените дверь, вероятность выигрыша составит 2 к 3.

Доказательство без математики, с точки зрения здорового смысла

Представим, что вместо трех дверей перед нами тысяча: за одной находится автомобиль, а за оставшимися 999 — козы.

Вы выбираете одну из них случайным образом, пусть это будет дверь 777. Разумеется, у вас могло быть множество причин выбрать именно эту дверь, но факт остается фактом — если вы не экстрасенс, вероятность того, что вы выбрали дверь, за которой находится автомобиль, составляет 1 к 1000.

Что, если теперь Монти Холл, который знает, за какой дверью спрятан автомобиль, откроет все оставшиеся двери, кроме 238-й, и за ними окажутся козы? Теперь перед вами 998 коз и две запертые двери: выбранная вами изначально дверь 777 и еще одна дверь, оставшаяся запертой, под номером 238. Теперь вы измените свое решение или нет?

Разве вам не покажется, что есть нечто подозрительное в том, что ведущий оставил закрытой именно эту дверь? Ведь у него была какая-то информация, недоступная вам в момент, когда вы делали собственный случайный выбор! Вспомните, что он знает, за какой дверью находится автомобиль. Он видит, что вы случайным образом выбрали дверь, за которой, вероятно (с огромной долей вероятности), спрятана коза. Затем он открывает 998 дверей, за которыми также находятся козы. Разве теперь вы не почувствуете, что просто обязаны изменить свой выбор на последнюю оставшуюся дверь? Разумеется, вы это сделаете и будете правы: автомобиль почти наверняка находится за дверью 238, которую Монти умышленно не стал открывать.

Говоря более математическим языком, ваш изначальный выбор делит двери на два множества. Множество 1 включает только ту дверь, которую вы выбрали, и вероятность того, что за ней спрятана машина, составляет 1 к 3 (или 1 к 1000 в расширенном примере). Множество 2 содержит все оставшиеся двери, следовательно, вероятность, что призовая дверь входит в это множество, составляет 2 к 3 (или 999 к 1000). После того как одна (или 998) дверь из множества 2 открыта

(при этом известно, что за ними скрываются козы, следовательно, вероятность того, что за какой-то из них находится автомобиль, равна нулю), это множество содержит всего одну закрытую дверь, но общая вероятность того, что за оставшейся дверью находится автомобиль, все еще равна 2 к 3 (или 999 к 1000), поскольку эта дверь унаследовала у множества вероятность того, что автомобиль находится за одной из дверей, входящих в него. Открытие бесполезных дверей с козами никак не изменяет вероятность того, что автомобиль находится за одной из дверей этого множества.

**Почему для нас так важно, что Монти Холл знает,
за какой дверью находится автомобиль?**

Не сомневаюсь, что к этому моменту мне уже удалось вас убедить, но на случай, если у вас остались сомнения, вот еще один пример, который, как мне кажется, ясно подчеркивает ключевое различие между двумя ситуациями: когда Монти Холл знает, что делает, и когда это не так.

Предположим, вы хотите купить двух котят. Вы звоните в ближайший зоомагазин, и его хозяин сообщает вам, что как раз сегодня у них появились два котенка от одной кошки — черный и полосатый. Вы спрашиваете, мальчики они или девочки. Рассмотрим два варианта ответа хозяина.

- ♦ «Я проверил пол только у одного — это мальчик». При отсутствии дополнительной информации какова вероятность того, что оба котенка — мальчики?
- ♦ «Я проверил полосатого — это мальчик». Какова теперь вероятность того, что оба котенка — мальчики?

На деле оказывается, что это два разных варианта ответа. Хотя в обоих случаях мы знаем, что по меньшей мере один котенок — мальчик, только во втором случае мы знаем, какой

именно. Именно эта дополнительная информация изменяет вероятность. Давайте посмотрим, каким образом.

Для начала разберем все четыре возможных варианта.

	Черный	Полосатый
1	Мальчик	Мальчик
2	Мальчик	Девочка
3	Девочка	Мальчик
4	Девочка	Девочка

Теперь рассмотрим случай А: «По меньшей мере один из них мальчик». Следовательно, это может быть один из трех первых вариантов: 1) оба мальчика; 2) черный мальчик и полосатая девочка; 3) черная девочка и полосатый мальчик. Итак, вероятность того, что они оба мальчика, составляет 1 к 3.

Однако в случае В, когда хозяин уточняет, что полосатый котенок — мальчик, эта дополнительная информация исключает вариант 2 в таблице, равно как и вариант 4, и у нас остается всего два варианта: либо оба котенка мальчики, либо полосатый котенок — мальчик, а черный — девочка. Теперь вероятность того, что оба котенка мальчики, равна 1 к 2.

Итак, вы видите, что вероятность того, что оба котенка мальчики, изменяется от 1 к 3 до 1 к 2 как только вы узнаете, какой котенок — мальчик. Это в точности такая же ситуация, как в парадоксе Монти Холла.

Но погодите, я слышу, как заядлый скептик говорит, что в истории с котятами хозяин зоомагазина предоставил вам дополнительную информацию, чтобы вы смогли вычислить вероятность, Монти Холл же ничего такого не делал. Это возражение приводит нас к последней части объяснения: наконец настало время раскрыть вопрос, который настолько

смутил читателей статьи Селвина в «Американ Статистишн» в 1975 году и тех, кто читал объяснения Мэрилин вос Савант в журнале «Парад» в 1990 году. Боюсь, нам придется еще раз вернуться к парадоксу Монти Холла.

Рассмотрим вариант, когда Монти Холл не знает, за какой дверью спрятан автомобиль. В таком случае если он откроет дверь В и мы увидим за ней козу, то вероятность того, что автомобиль находится за дверью А или С, действительно одинакова. Почему так? Ладно, давайте представим, что мы сыграли в эту игру (всего с тремя дверьми) 150 раз. Перед каждым ходом независимый судья перемещает автомобиль случайным образом за одну из трех дверей, и даже сам Монти Холл понятия не имеет, куда именно. Теперь если вы выберете дверь, а Монти Холл случайным образом откроет одну из оставшихся, то в среднем в одной трети случаев за этой дверью обнаружится автомобиль. Статистически это соответствует 50 случаям из 150 попыток. Разумеется, в этих 50 случаях наступает конец игры: вы не можете продолжать, поскольку выиграть автомобиль уже не удастся. При этом остается еще 100 случаев, когда за дверью В, открытой Монти Холлом, окажется коза.

В обоих случаях вероятность того, что автомобиль находится за дверью, которую вы выбрали изначально, составляет $\frac{1}{2}$ и нет никакого смысла менять свое решение. То есть в 50 случаях из 150 машина действительно обнаружится за дверью, которую вы выбрали вначале, и еще в 50 случаях она будет находиться за дверью С. Добавьте сюда те 50 случаев, в которых автомобиль скрывается за дверью, открытой Монти, и у нас получится три серии по 50 попыток с одинаковой вероятностью обнаружения автомобиля за любой дверью из трех.

Разумеется, если бы Монти знал, за какой дверью находится автомобиль, он не стал бы тратить эти 50 попыток на открытие этой двери. Итак, подведем итоги: предположим, что вы каждый раз выбираете дверь А. В 50 случаях из 150 автомобиль действительно обнаружится за дверью А, таким образом, вероятность выигрыша, если вы решите не менять дверь, составляет 1 к 3. Из следующих 100 попыток в половине случаев машина находится за дверью С, поэтому Монти откроет дверь В, а во второй половине — за дверью В, поэтому Монти откроет дверь С. Во всех 100 случаях он откроет дверь, за которой стоит коза, скрывая от вас автомобиль за второй дверью. Итак, изменив выбор во всех 150 попытках, вы выиграете машину в 100 случаях, то есть в двух случаях из трех.

Пока не попробуешь — не поймешь

В последней заметке, посвященной этому вопросу, Мэрилин вос Савант представила результаты более 1000 школьных экспериментов, проведенных, чтобы решить эту задачу опытным путем. Почти во всех случаях следовал вывод, что смена двери была правильным выбором. Мне тоже пришлось прибегнуть к такому способу решения этого парадокса в духе «не попробуешь — не поймешь» несколько лет назад, когда я пытался объяснить его своему другу. Во время долгого путешествия на автомобиле к месту съемок научного документального фильма, который я делал для «Би-би-си», я рассказал о парадоксе Монти Холла оператору Энди Джексону. Должен признаться, на тот момент я еще не сформулировал аргументацию, которую привел в этой главе, поэтому мне пришлось прибегнуть к наглядной демонстрации с помощью колоды карт. Я достал три карты: одну красную и две черные, перемешал, а затем выложил в ряд на сиденье автомобиля. Я запомнил, какая из карт красная. Я попросил Энди

не глядя сказать, где лежит красная карта. Затем перевернул одну из оставшихся, которая, как я знал, была черной, и предложил ему либо изменить решение, либо не менять. Мне понадобилось не более 20 попыток, чтобы убедить его, что он угадает красную карту примерно в два раза чаще, если изменит решение. Он не до конца понял, почему это так, но по крайней мере убедился, что я прав.

Надеюсь, Энди прочтет эту главу и наконец (надеюсь, как и вы) поймет почему.

Ну что ж, довольно этих пустяков — нас ожидают девять настоящих парадоксов физики.

Глава 2

Ахиллес и черепаха

Любое движение есть иллюзия

Первый из девяти парадоксов, которые мы рассмотрим, уходит корнями в прошлое на два с половиной тысячелетия. Учитывая, как много времени у нас было, чтобы поразмышлять над ним, никто не удивится, узнав, что его успели досконально разобрать и объяснить. Но все же большинство людей, сталкивающихся с этим парадоксом, в недоумении чешут затылок. Речь о парадоксе Ахиллеса и черепахи — он представляет собой одну из серии задач, сформулированных древнегреческим философом Зеноном в V веке до н. э. На уровне элементарной логики он проще некуда, но пусть вас это не вводит в заблуждение. В данной главе мы рассмотрим несколько парадоксов Зенона и под конец приведем его идеи в соответствие с временем. При этом, чтобы объяснить новую версию одного из них, придется обратиться к квантовой теории. Эй, а я и не говорил, что будет легко.

Давайте начнем с самого известного из парадоксов Зенона. Черепаха бежит наперегонки с быстроногим Ахиллесом. При этом ей дают фору, так что к моменту, когда Ахиллес стартует, она уже достигает какой-то условной точки пути (назовем ее точкой А). Поскольку Ахиллес бежит намного быстрее черепахи, очень скоро он тоже достигнет точки А. Однако к этому моменту черепаха уже продвинется немного дальше до точки, которую мы обозначим буквой В. К моменту, когда Ахиллес доберется до точки В, черепаха переместится в точку С и так далее. Итак, хотя Ахиллес определенно догоняет черепаху и расстояние между ними на каждом этапе немного сокращается, похоже, ему никогда не удастся ее обогнать. Где же наша ошибка?

В том, что касается разгадывания логических загадок и головоломок и вообще способности к глубоким размышлениям, древним грекам нет равных. На самом деле античные философы отличались настолько проницательным умом, были настолько прозорливы в своих логических построениях, что мы склонны забывать о том, что они жили более 2000 лет назад. Даже сегодня, когда мы хотим привести пример гениального человека, то наряду с не теряющим популярности Эйнштейном зачастую вспоминаем Сократа, Платона и Аристотеля, олицетворяющих интеллектуальное совершенство.

Зенон родился в Элее, древнегреческом городе, располагавшемся на территории современной Юго-Западной Италии. О его жизни и работе мы знаем только то, что он был учеником другого элейского философа Парменида. Вместе с соотечественником Мелиссом они организовали философское движение, теперь известное как элейская школа. Их философия основывалась на том, что чувства и чувственный опыт могут подводить при познании мира, поэтому полагаться

следует прежде всего на логику и математику. В целом разумный подход. Но как мы вскоре увидим, он повел Зенона по ложному пути.

Исходя из тех скудных сведений о его идеях, которые у нас имеются, может показаться, что Зенон не имел большого количества собственных суждений, а вместо этого посвятил себя разгрому аргументов других философов. Несмотря на это, сам Аристотель, живший спустя столетие после Зенона, отзывается о нем как об основателе нового типа спора, называемого диалектическим. Это разновидность цивилизованной дискуссии, в которой упражнялись древние греки (особенно люди, подобные Платону и Аристотелю), разрешая разногласия с помощью логики и разумных доводов.

До наших дней дошел всего один короткий отрывок оригинальной работы Зенона, поэтому все, что мы о нем знаем, исходит из работ других философов, в частности Платона и Аристотеля. В возрасте примерно 40 лет Зенон отправился в Афины, где встретился с молодым Сократом. Позже он стал принимать активное участие в греческой политике и в конечном итоге за участие в заговоре против правителя Элеи был заключен в тюрьму, где умер под пытками. Одна из историй гласит, что он предпочел откусить собственный язык и плюнуть им в тюремщиков, нежели предать товарищей. Но наибольшую известность Зенону принесла серия парадоксов, описанных Аристотелем в великом труде «Физика». Считается, что всего их было около 40, однако до нас дошло лишь несколько.

Четыре наиболее знаменитых парадокса Зенона известны нам под названиями, которые дал им Аристотель: «Ахиллес», «Дихотомия», «Стадион» и «Стрела». Центральная идея всех его парадоксов заключается в том, что ничто никогда

не меняется, что движение — это всего лишь иллюзия и что время само по себе на самом деле не существует. Разумеется, в чем древние греки преуспели, так это в философствовании, а грандиозное утверждение «Любое движение есть иллюзия» и ему подобные — всего лишь разновидность провокационных обобщений, которыми они прославились. Теперь стало возможным развенчать эти парадоксы с помощью науки. Однако они доставляют столько удовольствия, что определенно стоят того, чтобы вновь рассмотреть их здесь. В данной главе я по очереди разберу эти парадоксы и покажу, как с помощью небольшого, но кропотливого научного анализа можно решить каждый из них. Давайте начнем с парадокса, о котором я вам уже вкратце рассказал.

Ахиллес и черепаха

Это мой самый любимый парадокс Зенона, поскольку на первый взгляд он выглядит безупречно логичным, но все же неожиданным образом нарушает законы логики. Ахиллес — величайший воин древнегреческой мифологии, наделенный невероятной силой, смелостью и ратным мастерством. Полубог, сын царя Пелея из Фессалии и морской нимфы Тетис. Он играет выдающуюся роль в «Илиаде» Гомера, повествующей о событиях Троянской войны. О нем говорили, что, еще будучи маленьким мальчиком, он бегал так быстро, что мог догнать оленя, и был так силен, что мог убить льва. Так что Зенон определенно противопоставляет две крайности, выбирая в соперники этому мифическому герою неповоротливую черепаху.

Этот парадокс основан на еще более древней басне о зайце и черепахе, приписываемой древнему греку по имени Эзоп,

жившему примерно за столетие до Зенона. В оригинальной истории заяц высмеивает черепаху, которая вызывается бежать с ним наперегонки. Черепаха выигрывает гонку благодаря самонадеянности зайца, который решает, что может себе позволить остановиться на полпути и немного поспать, а после пробуждения обнаруживает, что догонять черепаху уже слишком поздно.

В версии Зенона роль зайца играет быстроногий Ахиллес. Но, в отличие от зайца, он полностью сосредоточен на поставленной задаче. Однако он все же дает черепахе фору, и это как будто губит его, поскольку черепаха все время выигрывает гонку, какой длинной она бы ни была, хотя, возможно, только благодаря древнегреческому аналогу фотофиниша. Согласно расчетам Зенона, как бы быстро ни бежал герой и как бы медленно ни тащился его соперник, Ахиллес никогда не догонит черепаху. Но ведь этого явно не произошло бы в реальности?

Греческие математики, незнакомые с тем, что мы называем сходящимся бесконечным рядом, да и вообще с самим понятием бесконечности (эти идеи я вам вскоре кратко объясню), всерьез ломали головы над этой задачей. Аристотель, определенно отличавшийся живостью ума применительно к размышлениям на подобные темы, называл парадоксы Зенона ложными заключениями. Проблема была в том, что ни Аристотель, ни кто бы то ни было из древних греков по-настоящему не понимали одну из основных алгебраических формул физики: скорость равна расстоянию, деленному на время. Теперь мы справляемся с этим намного лучше.

Разумеется, утверждение, что Ахиллес «никогда не догонит черепаху», ложно, поскольку всем более коротким расстояниям

на каждом этапе пути (между точками А и В, В и С и т. д.) соответствуют все более короткие промежутки времени. Поэтому даже при бесконечном числе этапов промежутков времени, который нужен, чтобы их преодолеть, не будет бесконечным. Более того, все эти этапы в сумме дают определенный временной промежуток — это время, которое требуется Ахиллесу, чтобы догнать черепаху! Этот парадокс сбивает с толку, потому что большинство людей не понимают, что сложение бесконечной последовательности чисел не обязательно приводит к бесконечности в ответе. Хотя это может показаться странным, бесконечное число этапов можно преодолеть за конечный промежуток времени, а наш герой догонит и перегонит черепаху достаточно быстро, как подсказывает логика. В основе решения лежит то, что математики называют геометрическим рядом.

Рассмотрим следующий пример:

$$1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + 1/32 \dots$$

Очевидно, что можно продолжать прибавлять все меньшие и меньшие дроби до бесконечности, при этом их общая сумма будет все больше приближаться к числу 2. Это можно проверить таким образом: нарисуйте линию и разделите ее на две половины, затем возьмите правую часть и снова разделите ее пополам и так далее, пока половинки не станут настолько маленькими, что вы уже не сможете отделить их друг от друга (рис. 2.1). Если половина линии равна одной единице измерения длины (не имеет значения, будет это сантиметр, дюйм, метр или миля), то при добавлении последовательности дробей, как в ряде, записанном выше, общая длина будет сходиться к двум единицам измерения.

Бесконечное сложение бесконечного числа все более коротких отрезков не дает в сумме бесконечность, поскольку длина отрезков все время уменьшается.

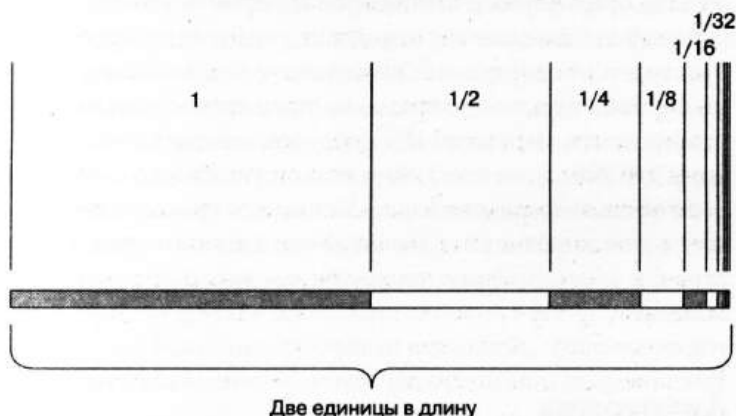


Рис. 2.1. Сходящийся бесконечный ряд

Чтобы применить это для решения нашего парадокса, лучше рассматривать не точки, куда Ахиллес и черепаха должны прибыть на каждом этапе, а расстояние между ними, сокращающееся все сильнее. Поскольку скорость каждого соперника постоянна, это расстояние также уменьшается с постоянной скоростью. К примеру, если Ахиллес даст черепахе фору в 100 метров, а затем начнет догонять ее на скорости 10 м/с, как же ему это удастся с точки зрения Зенона? Через 5 секунд расстояние между ними уменьшится вдвое. Оставшееся расстояние уменьшится еще в два раза через 2,5 секунды, оставшееся после этого — через 1,25 секунды и так далее. При желании мы могли бы продолжать прибавлять все меньшие промежутки, которые герой преодолевает за все меньшее количество времени, но факт остается фактом — если Ахиллес гонится за черепахой

со скоростью 10 м/с, он догонит ее через 10 секунд. Именно столько времени ему потребуется, чтобы сократить изначальный отрыв в 100 метров до нуля. А это значение (10 секунд) именно то, что мы получим, если прибавим 5 секунд + 2,5 секунды + 1,25 секунды + 0,625 секунды и так далее, пока следующее число не окажется настолько маленьким, что мы сможем удовлетвориться результатом (на 9,999 999 ... секунде). Через 10 секунд Ахиллес, разумеется, обгонит черепаху, как и ожидалось (разве что он решит остановиться по пути выпить пивка — этот момент Зенон в своем доказательстве не посчитал нужным прояснить).

Дихотомия

Следующий парадокс Зенона опровергает реальность самого движения и представляет собой вариацию на ту же тему, что и парадокс Ахиллеса и черепахи. Формулируется он очень просто.

Чтобы достичь пункта назначения, вначале вы должны преодолеть половину расстояния, однако, чтобы пройти половину расстояния, вначале нужно покрыть его четверть, чтобы пройти четверть, нужно преодолеть одну восьмую и так далее. Раз вы можете до бесконечности делить расстояния пополам, то вы никогда не достигнете самого первого условного пункта, поэтому вы не сможете начать свой путь никогда. Более того, эта последовательность укорачивающихся промежутков бесконечна. Стало быть, чтобы закончить свой путь, вам предстоит выполнить бесконечное число заданий. Следовательно, вы никогда не сможете дойти до конца. Если вы не можете начать путь и в любом случае никогда не достигнете его конца, значит, движение само по себе невозможно.

Об этом парадоксе мы узнаем от Аристотеля, понимавшего, что это бессмыслица, однако искавшего логические доводы, с помощью которых можно покончить с этим парадоксом раз и навсегда. В конце концов, довольно очевидно, что такая вещь, как движение, существует. Однако Зенон применяет здесь форму аргументации, известную как *reductio ad absurdum* (с лат. «доведение до абсурда»), которая заключается в том, что идею развивают дальше, пока не приходят к выводу, абсурдному с точки зрения логики. Не стоит также забывать, что Зенон не был математиком. Он вел споры, опираясь исключительно на чистую логику, а зачастую этого недостаточно. Другие древнегреческие философы опровергали доводы Зенона об иллюзорности движения, опираясь на более прямолинейный и прагматический подход. Одним из них был Диоген-киник.

Современное слово «цинизм» уходит корнями в идеалистическое философское движение Древней Греции. Греческие киники, похоже, были более приятной компанией, чем можно предположить на основании современного значения этого слова: они отвергали богатство, власть, славу и даже собственность, предпочитая всему этому простую жизнь, лишенную традиционных человеческих пороков. Они верили, что все люди равны и что мир в равной степени принадлежит каждому. Вероятно, самым известным из киников был Диоген, живший во времена Платона (в IV веке до н. э.). Этому философу принадлежит ряд замечательных высказываний: «Румянец — это цвет добродетели», «Собаки и философы делают больше всего добра и получают меньше всего наград», «Довольствуясь малым, человек обретает все».

Диоген довел учение киников до крайности. Похоже, он ставил бедность себе в заслугу и несколько лет прожил в бочке на рыночной площади Афин. Он получил известность

за свой цинизм в отношении всего подряд, в особенности философских учений того времени, даже тех, которые исходили от таких титанов, как Сократ и Платон. Так что можете представить, что он думал о Зеноне и его парадоксах. Услышав о зеноновском парадоксе дихотомии, утверждавшем иллюзорность движения, он просто встал и ушел, продемонстрировав тем самым абсурдность выводов Зенона.

Хотя Диогену можно поаплодировать за его практический подход, нам все еще следует разобраться немного более тщательно, где именно нарушается логика Зенона. Оказывается, это не так уж сложно, в конце концов у нас в запасе было более 2000 лет. Хотя вам может показаться, что для опровержения парадокса Зенона достаточно одного только здравого смысла, я так не считаю. Большую часть своей жизни я провел, занимаясь физикой и, что более важно, думая как физик, поэтому мне недостаточно доводов с точки зрения логики, философии и здравого смысла, опровергающих парадокс дихотомии. Здесь требуется безупречная физика, которая работает куда более убедительно.

Нам нужно преобразовать довод Зенона о расстоянии в тезис о времени. Предположим, что в момент, когда вы попадаете в начальную точку вашего путешествия, вы уже движетесь с постоянной скоростью. Сама идея скорости, которую Зенон понимал не очень хорошо, говорит о том, что вы покрываете некоторое расстояние за определенное время. Чем короче расстояние, которое вам предстоит преодолеть, тем короче временной интервал, который на это потребуется, однако всякий раз, когда вы будете делить первое число на второе, в ответе будет ваша скорость. Рассматривая все более короткие промежутки расстояния, которое вам нужно преодолеть, чтобы начать путешествие, вы одновременно рассматриваете все более короткие временные интервалы. Но время про-

должает идти независимо от того, что нам хочется разделить его искусственным путем на эти укорачивающиеся периоды. Правильнее будет рассматривать время, а не пространство в качестве неподвижной линии, которую можно бесконечно делить (и мы часто понимаем время таким образом, когда решаем задачи в физике), однако критический момент состоит в том, что мы не *воспринимаем* время как неподвижную линию, подобную линии в пространстве. Мы не можем вырвать себя из временного потока. Время продолжает идти вперед, а вместе с ним движемся и мы.

Если мы рассматриваем эту ситуацию с точки зрения человека, который еще не движется, а только начинает движение из состояния покоя, нам просто потребуется еще немного физики. Речь идет о том, что мы все учили в школе (и большинство из нас, без сомнения, вскоре забыли). Это называется вторым законом Ньютона, который гласит, что для того, чтобы тело пришло в движение, к нему нужно приложить силу. Это вызовет ускорение, приводящее к тому, что покоящееся тело придет в движение. Но как только тело приходит в движение, в силу вступает все тот же аргумент, а именно: по мере движения времени расстояние, которое проходит предмет, зависит от его скорости — и она не обязана быть постоянной. Следовательно, аргумент дихотомии — абстрактная несообразность, не имеющая никакого отношения к истинному движению в физическом мире.

Прежде чем идти дальше, я вставляю последнюю ремарку. Теория относительности Альберта Эйнштейна гласит, что, возможно, нам не следует отвергать парадокс дихотомии с такой уверенностью. Согласно Эйнштейну, время *можно* рассматривать так же, как и пространство; на самом деле он называет время четвертым измерением или четвертой осью в системе координат, соответствующей пространству-времени.

Это наводит на мысль, что, возможно, течение времени в конечном итоге всего лишь иллюзия, а если это так, то же справедливо и для движения. Но я готов поспорить, что, несмотря на успешность теории относительности, такое заключение уводит нас от физики, погружая в темную пучину метафизики — абстрактных идей, не имеющих прочного фундамента в эмпирической науке.

Я не намекаю, что теория относительности Эйнштейна ошибочна, разумеется, это не так. Просто идеи Эйнштейна по-настоящему проявляются только на очень высоких скоростях — близких к скорости света. При нормальных, привычных скоростях мы, по сути, вправе игнорировать эти релятивистские эффекты и, как прежде, рассматривать пространство и время в рамках здравого смысла. В конце концов, если мы доведем аргумент Зенона до его логического завершения, то на деле окажется неправильным утверждать, что пространство и время можно бесконечно делить на все более короткие отдельные интервалы. В какой-то момент они будут настолько маленькими, что начнет действовать квантовая физика, в рамках которой пространство и время становятся смешанными и неопределенными и смысл делить их на все более мелкие отрезки пропадает. На самом деле в квантовом царстве атомов и субатомных частиц и само движение несколько иллюзорно. Однако Зенон имел в виду вовсе не это.

Хотя погружаться в квантовую физику и теорию относительности и обсуждать их в таком контексте весьма занятно, для того чтобы объяснить парадокс дихотомии Зенона ни то ни другое не требуется. Если же вы станете использовать эти идеи современной физики, чтобы доказать, что любое движение иллюзорно, вы упустите суть и подведете нас опасно близко к тому краю, за которым физика превратится в ми-

стицизм. Так что давайте ничего не усложнять без надобности. Поверьте мне, дальше в этой книге у нас будет масса времени на все эти безумства.

Стадион

Итак, мы движемся вперед без промедления. Близкий предыдущему парадокс Зенона, в котором обыгрывается понятие скорости, называют парадоксом движущихся рядов. Об этом малоизвестном парадоксе мы узнали благодаря Аристотелю, который называл его «Стадион». Попробую описать этот парадокс как можно более сжато.

Представьте себе три поезда — каждый состоит из локомотива и двух вагонов. Первый поезд стоит на станции. Вторым и третьим поезда не останавливаются на станции, а проезжают ее с одинаковой и постоянной скоростью в двух противоположных направлениях, поезд В едет с запада на восток, а поезд С — с востока на запад.

В определенный момент времени поезда расположены как на рис. 2.2, а. Затем, спустя секунду, они выстраиваются в линию как на рис. 2.2, б. Проблема, согласно Зенону, связана с движением поезда В: в одну и ту же секунду он проехал расстояние, равное длине одного вагона относительно поезда А, но при этом проехал расстояние, равное длине двух вагонов относительно поезда С. Парадокс заключается в том, что поезд проехал за одно и то же время определенное расстояние и то же расстояние, умноженное на 2. Зенон, похоже, осознал, что речь идет всего лишь об относительных расстояниях, поэтому попытался сформулировать этот парадокс относительно времени. Разделив значения обоих расстояний на постоянную скорость поезда В, мы получим два различных временных интервала, один из которых будет

в два раза больше первого. Но оба этих промежутка, похоже, парадоксальным образом соответствуют времени, которое потребуется, чтобы ситуация, изображенная на верхнем рисунке, превратилась в ситуацию на нижнем рисунке.

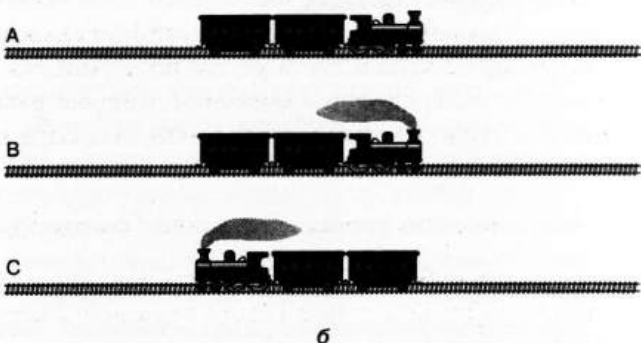
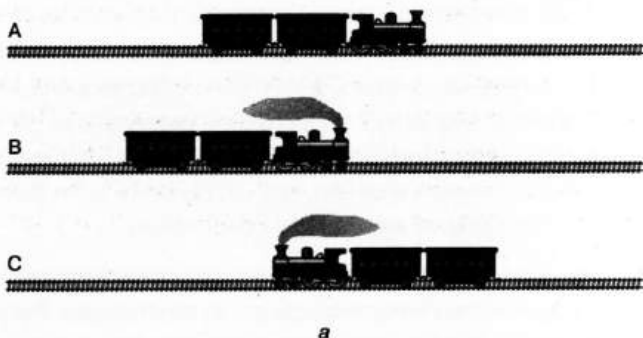


Рис. 2.2. Парадокс движущихся рядов:

а — поезд А неподвижен, поезд В едет слева направо, а поезд С — справа налево с той же скоростью, что и поезд В;
б — спустя секунду все три поезда находятся на одном уровне

Этот мнимый парадокс решается просто, поскольку очевидно, что не так в его доказательстве. Разумеется, существует такое понятие, как относительная скорость, поэтому нельзя говорить, что поезд В движется с одной и той же скоростью относительно неподвижного поезда А и движущегося поезда С. Знал ли об этом Зенон или просто указывал не слишком очевидный аспект иллюзорной природы движения? Этого мы не знаем, однако всякому школьнику должно быть понятно, что никакого парадокса здесь и близко нет. Поезд В едет относительно поезда С со скоростью вдвое большей, нежели относительно поезда А, и, разумеется, он успеет проехать два вагона поезда С за то же время, за которое проедет один вагон поезда А.

Стрела

Как и «Дихотомия», этот парадокс строится вокруг идеи о том, что на самом деле движение — всего лишь иллюзия. Аристотель сформулировал его таким образом: «Если всякое тело, занимающее соответствующее ему пространство, неподвижно, а то, что находится в движении, занимает равное ему пространство в любой момент времени, следовательно, летящая стрела неподвижна».

Э-э-э? Ладно, давайте попробуем изложить это более доступно.

Летящая стрела в любой заданный момент имеет определенное фиксированное положение, которое можно увидеть на мгновенном снимке ее полета. Но если мы видим стрелу только в данный момент времени, ее нельзя отличить от настоящей покоящейся стрелы, занимающей то же место. Тогда как мы вообще можем говорить о том, что стрела находится в движении? В самом деле, если время состоит из

последовательности мгновений, в каждое из которых стрела неподвижна, то она не движется вовсе.

Парадокс, конечно, заключается в том, что движение существует, мы знаем об этом. Разумеется, стрела движется. Где же логическая ошибка в утверждении Зенона?

Время можно рассматривать как последовательность бесконечно коротких моментов, которые мы можем считать мельчайшими возможными неделимыми интервалами. Будучи физиком, я вижу, в чем заключается проблема доводов Зенона. Если эти неделимые моменты на самом деле не имеют нулевую длительность (как настоящие мгновенные снимки), то положение стрелы в начале и в конце каждого из них будет несколько отличаться, следовательно, нельзя будет сказать, что она находится в покое. С другой стороны, если эти мгновения действительно имеют нулевую длительность, тогда неважно, как много таких интервалов следует друг за другом, — в результате не получится интервал, отличный от нуля по длительности (сколько ни складывай между собой нули, в ответе все равно будет нуль). Следовательно, аргумент Зенона о том, что определенный промежуток времени состоит из последовательности таких мгновений, ошибочен.

Чтобы окончательно разобраться с этим парадоксом, придется обратиться к достижениям математики и физики. Именно понимание математического анализа (раздела математики, разработанного Исааком Ньютоном и другими учеными в XVII веке и описывающего, как складывать бесконечно малые величины, чтобы корректно описать само понятие изменения) стало прорывом, окончательно развенчавшим наивные идеи Зенона.

Но у этой истории неожиданный конец. В 1977 году двое физиков из Техасского университета опубликовали удиви-

тельную научную работу, в которой предположили, что парадокс стрелы Зенона, возможно, списали со счетов преждевременно. Этих физиков звали Байдянат Мизра и Джордж Сударшан, а их работа называлась «Парадокс Зенона в квантовой теории». Физики со всего мира были заинтригованы. Кто-то счел их работу глупой, в то время как другие не замедлили попробовать проверить эту идею. Но прежде, чем я продолжу, позвольте сообщить вам тот минимум информации о странном и удивительном наборе идей, на котором базируется квантовая механика и без которого, на мой взгляд, нам не обойтись на этом начальном этапе книги.

Парадокс Зенона и квантовая механика

Квантовая механика — это теория, описывающая все происходящее в микромире. Под этим я имею в виду не тот крошечный мир, который мы видим с помощью микроскопа, а намного более миниатюрный мир атомов, молекул и субатомных частиц (электронов, протонов и нейтронов), из которых они состоят. На самом деле квантовая механика представляет собой наиболее мощную, значительную и фундаментальную совокупность математических идей во всей науке. Ее можно считать выдающейся по двум на первый взгляд противоречивым причинам (что само по себе практически парадокс!). С одной стороны, она настолько фундаментальна для нашего понимания процессов, происходящих в мире, что лежит в основе большинства достижений техники, созданных за последние 50 лет. С другой стороны, похоже, никто не знает, что на самом деле все это значит. Я должен сразу пояснить: математическую теорию квантовой механики саму по себе нельзя назвать странной или нелогичной. Напротив, это чрезвычайно красивая в своей точности и логичности конструкция, которая очень хорошо

описывает процессы в природе. Без нее мы не смогли бы понять основы современной химии, электроники и материаловедения, не изобрели бы кремниевые микросхемы и лазер. Не было бы ни телевизоров, ни компьютеров, ни микроволновых печей, ни CD-и DVD-плееров, ни мобильных телефонов, не говоря о другой технике, наличие которой мы воспринимаем как должное.

Квантовая механика с невероятной точностью предсказывает и объясняет поведение самых основных «кирпичиков» материи. Она привела нас к очень точному и почти полному пониманию того, что происходит в субатомном мире, рассказала, как мириады частиц взаимодействуют между собой и соединяются, формируя окружающий мир, частью которого мы, безусловно, являемся. В конце концов, мы всего лишь скопления триллионов атомов, подчиняющихся законам квантовой механики и организованных чрезвычайно сложным образом.

Эти странные математические законы были открыты в 1920-х годах. Оказалось, что они сильно отличаются от правил, господствующих в более знакомом нам земном повседневном мире, который мы видим вокруг. Ближе к концу этой книги, когда дело дойдет до парадокса кота Шредингера, мы выясним, насколько странны некоторые эти правила. На данном этапе я предпочту сосредоточиться на одной особенно странной черте квантового мира, а именно на том, что атом ведет себя неодинаково, когда его оставляют в покое и когда за ним наблюдают. Под наблюдением я подразумеваю, что его поведение каким-то образом отслеживается (при этом его толкают или тыкают, выбивают или расстреливают). Данное свойство квантового мира нам все еще не до конца понятно, в частности, потому, что только теперь становится ясно, что именно имеется в виду под

наблюдением в этом случае. Это называется проблемой квантового измерения, и в наши дни в данной области все еще ведутся активные исследования.

В квантовом мире господствуют вероятности. Это место, где ничто не является тем, чем кажется. Если оставить радиоактивный атом в покое, он испустит частицу, однако мы не можем предсказать, когда это произойдет. Все, что мы можем сделать, — это рассчитать число, называемое периодом полураспада. Это время, которое требуется, чтобы произошел радиоактивный распад половины большого числа идентичных атомов. Чем больше число атомов, тем точнее мы можем определить период полураспада, однако мы не можем заранее предугадать, какой из атомов в образце распадется следующим. Это очень похоже на среднестатистический результат при подбрасывании монетки. Известно, что если мы будем снова и снова подбрасывать монетку, то в половине случаев она упадет орлом, а во второй половине — решкой. Чем больше раз мы ее подбросим, тем точнее будет этот статистический прогноз. Но мы не сможем предсказать, упадет монетка в следующий раз орлом или решкой.

Квантовый мир вероятностен по своей природе не потому, что квантовая механика как теория неполная или приближительная, а скорее потому, что сам атом «не знает», когда произойдет это случайное событие. Это пример того, что называется индетерминизмом или непредсказуемостью.

Работа Мизры и Сударшана, опубликованная в «Журнале математической физики», описывает поразительную ситуацию, при которой радиоактивный атом, если за ним наблюдают внимательно и без перерывов, никогда не распадется! Эту мысль идеально резюмирует английская поговорка «Чайник, за которым наблюдают, никогда не закипит»,

впервые использованная, насколько мне известно, викторианской писательницей Элизабет Гаскелл в романе «Мэри Бартон», опубликованном в 1848 году. Хотя это выражение относится к тому виду поговорок, которые с большой долей вероятности пришли к нам из куда более древних времен. Эта идея, разумеется, уходит корнями к парадоксу стрелы Зенона и к нашей невозможности зафиксировать движение, рассматривая мгновенные снимки движущихся объектов, сделанные в определенные моменты времени.

Но как и почему это может происходить в реальности? Очевидно, что поговорка о чайнике, за которым наблюдают, просто учит терпению: уставившись на чайник, вы не заставите его закипеть быстрее. Однако, похоже, Мизра и Сударшан предполагают, что, когда речь идет об атомах, вы действительно влияете на их поведение, наблюдая за ними. Более того, этого воздействия нельзя избежать — глядя на объект, вы неминуемо меняете его состояние.

Эта идея восходит к самой сути того, как квантовая механика описывает микроскопический мир: туманная, призрачная реальность, в которой, похоже, постоянно происходят всевозможные странные вещи, как только за ней перестают наблюдать (к этой идее мы вернемся в главе 9), причем ни одно из этих событий мы на деле не можем зафиксировать. Итак, атом, который, когда предоставлен сам себе, спонтанно испустил бы частицу в любой момент, почему-то начинает этого «стесняться», когда за ним подглядывают, и нам не удается поймать его за данным процессом. Как будто атому присуща своего рода осведомленность о событиях, что звучит безумно. Однако квантовый мир действительно безумен. Одним из отцов-основателей квантовой теории был датский физик Нильс Бор, в 1920 году создавший научно-исследовательский институт в Копенгагене, куда привлек величайшие научные

умы своего времени — Вернера Гейзенберга, Вольфганга Паули и Эрвина Шрёдингера, чтобы попытаться раскрыть тайны мельчайших кирпичиков природы. Одно из самых известных высказываний Бора звучит так: «Если квантовая механика не ошеломляет вас — значит, вы ее не поняли».

Работа Мизры и Сударшана была названа «Парадокс Зенона в квантовой теории», поскольку она основана на парадоксе Зенона о стреле. Однако теперь будет честным сказать, что, хотя вывод из него все еще несколько противоречив, для большинства физиков, работающих в области квантовой теории, это больше не парадокс. В современной литературе его чаще называют квантовым эффектом Зенона, и теперь известно, что область его применения намного шире, чем в ситуации, описанной Мизрой и Сударшаном. Специалист в области квантовой физики с радостью расскажет вам, что этот эффект объясняется «постоянным коллапсом волновой функции в исходном нераспавшемся состоянии», что звучит как научная белиберда, понятная только очкарикам (чего и стоит ожидать от такого рода людей — мне ли не знать, ведь я один из них). Но не думаю, что стоит дальше развивать здесь эту тему (на случай, если вы сейчас занервничали, во что же позволили себя втянуть).

Недавнее исследование, показавшее, что квантовый эффект Зенона распространен куда более широко, стало возможным благодаря тому, что специалисты по квантовой физике теперь лучше понимают, как атом реагирует на свое окружение. Прорыв произошел, когда ученые, работавшие в одной из самых престижных научных лабораторий (Национальном институте стандартов и технологий в Колорадо), подтвердили существование квантового эффекта Зенона в своем знаменитом эксперименте 1990 года. Эксперимент проводился в отделе с изумительным названием «Отдел времени

и частоты», который известен по большей части тем, что устанавливает стандарты для наиболее точного измерения времени. В самом деле, недавно ученые этого отдела сконструировали самые точные атомные часы, погрешность которых составляет одну секунду в три с половиной миллиарда лет, что довольно близко к возрасту самой Земли.

Одним из физиков, работавших над этими невероятно точными часами, был Уэйн Итано. Именно его исследовательская группа провела эксперимент, призванный проверить, можно ли обнаружить квантовый эффект Зенона. В ходе опыта тысячи атомов заключили в магнитном поле, а затем осторожно расстреляли лазером, вынуждая их выдать свои секреты. С большой достоверностью ученым удалось отыскать явные свидетельства существования квантового эффекта Зенона: находясь под постоянным наблюдением, атомы вели себя совершенно не так, как ожидали ученые.

Наконец, обнаружили свидетельства того, что существует противоположный эффект, называемый эффектом анти-Зенона. Это квантовый аналог ситуации, в которой вы, уставшись на чайник, заставили бы его закипеть быстрее. Хотя это исследование все еще несколько спекулятивно, оно направлено в самое сердце одной из самых глубоких и, возможно, важных научных областей XXI века, которая приведет нас к созданию так называемого квантового компьютера. Это устройство напрямую использует некоторые из странных свойств квантового мира для того, чтобы производить вычисления намного эффективнее.

Я не уверен, какие выводы Зенон Элейский сделал бы из возрождения своих парадоксов или как бы воспринял то, что приблизительно через две с половиной тысячи лет его именем

назовут удивительный физический феномен. В этом случае парадокс не имеет никакого отношения к логическим фокусам, а полностью основан на еще более странных фокусах природы, с помощью которых она, похоже, способна разыгрывать нас в крошечных атомарных масштабах, — и мы только-только начинаем их понимать.

Вместе с парадоксами Зенона мы прошли путь от рождения физики до передовых идей XXI века. Все остальные парадоксы в этой книге появились где-то в промежутке между ними. Чтобы развенчать их, нам придется путешествовать к наиболее отдаленным рубежам Вселенной и исследовать сущность пространства и времени. Держитесь крепче.

Глава 3

Парадокс Ольберса

Почему ночью темнеет?

Несколько лет назад мы с семьей и друзьями проводили отпуск во Франции. Мы отдыхали на ферме, в идиллической сельской местности региона Лимузен Центрального массива (одной из самых малонаселенных областей страны). Однажды поздно вечером, когда дети уже легли спать, мы, взрослые, сидели у дома, наслаждаясь бокалом-другим местного красного вина и глядя на чистое, сверкающее ночное небо над нами. Мы говорили о том, что Франция достаточно велика, чтобы в ней все еще можно было найти безлюдную местность с небольшим световым загрязнением, и как нам, жителям густонаселенных юго-восточных районов Англии, непривычно наблюдать столько звезд у себя над головой. Наиболее впечатляюще выглядела полоса тусклого рассеянного света, похожая на легкое облако, длинным мазком протянувшаяся по всему небу.

Но облако скрыло бы от нашего взгляда отдаленные звезды, находящиеся за ним, а мы четко могли разглядеть на фоне

этой дымчатой полосы столько же звезд, сколько и в других частях неба. Казалось, что есть нечто позади далеких звезд. Как представитель науки в нашей компании, я отметил, что то, что мы видим, является центральным диском нашей галактики Млечный Путь, повернутым к нам боком, и что это скопление света находится намного дальше от нас, нежели любые отдельные звезды, которые мы видим. К моему изумлению, парочка моих друзей признались, что видят его впервые, и они были удивлены, узнав от меня, что он состоит из миллиардов звезд, формирующих основную массу нашей Галактики, которые слишком тусклы и расположены слишком далеко, чтобы мы смогли видеть их как отдельные точки света.

Разумеется, не всякая яркая точка на ночном небе — это звезда. Самые яркие объекты, не считая Луны, — это соседние планеты: Венера, Юпитер и Марс. Они светятся, потому что отражают свет, идущий от Солнца, в ночное время скрывающегося от наших глаз по другую сторону Земли. Ближайшие к нам звезды за пределами Солнечной системы расположены в нескольких световых годах от Земли. Не забывайте, что световой год — это, как ни странно, единица расстояния, а не времени. Это отрезок, который свет проходит за год (чуть меньше 10 триллионов километров). Чтобы было понятнее, 150 миллионов километров, которые отделяют нас от Солнца, составляют всего 0,000 016 светового года. На самом деле правильнее будет сказать, что расстояние между Землей и Солнцем равно 8,3 световой минуты, поскольку именно столько (всего лишь немногим более 8 минут) требуется свету, чтобы преодолеть эту дистанцию.

Следующая по расстоянию от нас звезда после Солнца — Проксима Центавра, находящаяся всего лишь в четырех световых годах от Земли. Но это не самая яркая звезда на небе.

Это звание принадлежит Сириусу, который вдвое дальше от нас. Только Луна, Юпитер и Венера гораздо ярче, чем Сириус, который можно увидеть практически из любой точки планеты, если только вы не живете на несколько сотен миль севернее Полярного круга. Вместе с Бетельгейзе и Проционом они образуют вершины Зимнего Треугольника, видимого в Северном полушарии. Чтобы увидеть его, вначале найдите три звезды, составляющие Пояс Ориона, и мысленно продлите эту линию вниз. Не заметить Сириус будет трудно.

Среди других ярких звезд можно отметить очень далекий, но массивный Ригель, голубой сверхгигант, превышающий Солнце размерами в 78 раз, а по яркости — в 85 000 раз. Это самая яркая звезда в нашей области Галактики. В отличие от Сириуса она не выглядит такой яркой, как другие звезды на небе, потому что находится очень далеко (700–900 световых лет от Земли). Примерно на таком же расстоянии находится еще более крупная, но менее яркая звезда — красный сверхгигант Бетельгейзе. Эта огромная звезда в 13 000 раз ярче Солнца и в 1000 раз крупнее его, она настолько большая, что если ее поместить на место Солнца, в центр нашей системы, то она поглотит орбиты Меркурия, Венеры, Земли, Марса и Юпитера!

С тех пор как астрономы стали использовать телескопы, позволяющие им взглянуть в небеса дальше, чем когда-либо было доступно невооруженному глазу, они поняли, что звезды распределены по Вселенной неравномерно: они группируются в галактики, каждая из которых подобна громадному звездному городу, и эти галактики отделены друг от друга невообразимо огромными пустыми пространствами. Все звезды, которые мы видим на небе (включая Сириус, Ригель и Бетельгейзе), входят в состав нашей Галактики. Более того, все они расположены в наших ближайших окрестностях на Млечном Пути.

В идеальных условиях (правильная часть света и правильное время года) мы имеем возможность различить несколько тысяч звезд невооруженным глазом и сотни тысяч — с помощью маленького телескопа. Но даже это число — всего лишь крошечная доля (менее 1 %) всех звезд Млечного Пути, которых насчитывается от 200 до 400 миллиардов, то есть примерно по 50 звезд на каждого человека, живущего в современном мире.

Вот почему диск Млечного Пути выглядит как сплошная полоса слабого света, пересекающая ночное небо. Ядро галактики находится примерно в 25 000 световых лет от Земли, в то время как диаметр всей галактики составляет 100 000 световых лет. На таких расстояниях отдельные звезды светят недостаточно ярко, чтобы их можно было четко отделить друг от друга, поэтому все, что мы можем разглядеть, — это суммарный свет миллиардов звезд.

Звезды в Галактике распределены неравномерно. В отличие от нашего одинокого Солнца, большинство звезд светят в парах или в группах, вращаясь друг вокруг друга. Некоторые молодые звезды образуют свободные открытые скопления, состоящие из сотен светил, а в так называемых шаровых скоплениях обнаруживаются более крупные группы, состоящие из тысяч звезд.

В других галактиках мы совершенно точно не сможем различить отдельные звезды. На самом деле другие галактики в принципе практически невозможно увидеть без мощного телескопа. Даже наши ближайшие соседи, галактики Андромеды и Магеллановы Облака, невооруженным глазом едва различимы в виде очень слабых светящихся пятен.

Галактика Андромеды немного больше нашей и располагается на расстоянии 2 миллионов световых лет от нас. Если

бы мы сжали Млечный Путь до размеров Земли, то Андромеда находилась бы на том же расстоянии, что и Луна. В этой галактике насчитывается около 500 миллионов звезд. Я помню трепет, который испытал, когда впервые увидел в телескоп эту тусклую туманную спираль. По-настоящему меня поразила тот факт, что я видел Андромеду не такой, какова она сейчас, но такой, какой она выглядела 2 миллиона лет назад. Тот свет, который покинул Андромеду в эпоху, когда людей на Земле еще не существовало, теперь встретился с моим глазом и на этом закончил свое долгое путешествие. Я странным образом почувствовал собственную исключительность: мне удалось присутствовать в том самом месте и в тот самый момент, чтобы уловить своей сетчаткой эти фотоны, возбуждающие электрические импульсы, которые идут к нейронам моего головного мозга и сообщают мне, что я вижу.

Физики склонны смотреть на мир таким вот странным образом.

Не только звезды формируют группы внутри галактик, сами галактики также группируются в скопления. Наша Галактика — одна из примерно 40, образующих так называемую местную группу, также включающую Большое и Малое Магеллановы Облака и Андромеду. Благодаря появлению все более мощных телескопов астрономические измерения достигли такого уровня точности, позволяя нам все дальше углубляться в космос, что теперь мы знаем, что галактические скопления также группируются в так называемые сверхскопления. Наша местная группа на самом деле является частью местного сверхскопления. Как далеко простирается наша Вселенная? На самом деле мы не знаем. Но этот вопрос веками мучил астрономов, и именно он подводит нас к следующему парадоксу.

Глядя в ночное небо, мы порой задаемся очень глубоким вопросом:

«Почему ночью темнеет?»

Может показаться, что это довольно банальный вопрос. В конце концов, даже дети знают, что ночь наступает тогда, когда Солнце садится за горизонт; поскольку ничего настолько же яркого, как Солнце, поблизости в ночном небе нет, нам приходится довольствоваться слабым отраженным светом Луны и еще более тусклым светом отдаленных планет и звезд.

На самом деле этот вопрос имеет намного большее значение, чем кажется поначалу. Более того, астрономы бились над ним сотни лет, пока не нашли правильный ответ. Теперь этот вопрос известен как парадокс Ольберса.

Итак, вот в чем состоит проблема. У нас есть все основания считать, что даже если Вселенная не бесконечна (что вполне возможно), она настолько огромна, что фактически продолжается во все стороны без конца и края. Следовательно, в каком бы направлении мы ни посмотрели в космическое пространство, наш взгляд должен наткнуться на звезду и небо должно выглядеть еще ярче, чем оно обычно бывает днем. На самом деле оно должно все время быть настолько ярким, что не будет иметь никакого значения, день сейчас или ночь относительно положения Солнца.

Давайте посмотрим на это с другой стороны. Представьте, что вы находитесь в центре огромного леса, настолько большого, что можно предположить, что он простирается бесконечно во всех направлениях. Теперь попробуйте выпустить стрелу горизонтально в любом направлении. В этой воображаемой ситуации стрела должна лететь по прямой линии и не падать на землю, пока не воткнется в ствол

какого-нибудь дерева. Даже если она пролетит мимо всех ближайших деревьев, рано или поздно она все равно попадет в какой-нибудь ствол. Поскольку лес бесконечен, на траектории полета стрелы всегда окажется дерево, как бы далеко оно ни находилось.

Теперь представьте, что наша Вселенная простирается бесконечно и содержит бесконечное число равномерно распределенных по ней звезд. Свет, идущий к нам от этих звезд, подобен стреле из примера, только летящей в обратном направлении. Вне зависимости от того, в какую точку неба мы посмотрим, на глаза нам обязательно попадется звезда. Следовательно, между звездами не будет никаких промежутков и небо постоянно будет таким же ярким, как поверхность Солнца.

Впервые столкнувшись с этой дилеммой, возможно, вы поднимете два вопроса, которые я упомянул во вступлении к этому парадоксу. Во-первых, вы можете спросить: не будут ли самые далекие звезды слишком тусклыми, чтобы мы смогли их увидеть? А во-вторых, разве звезды не распределены по небу неравномерно? Разве они не группируются в скопления, а эти скопления — в галактики? На самом деле ни одно из этих возражений не имеет значения. Что касается первого вопроса, хотя отдаленные звезды действительно выглядят не такими яркими, как более близкие, соответствующий им участок неба будет вмещать значительно больший объем, поскольку он дальше простирается вглубь и, соответственно, будет содержать большее число звезд. Согласно довольно простым геометрическим расчетам, которые я приведу в этой главе чуть позже, эти два эффекта полностью уравнивают друг друга: для любого данного участка неба общая яркость меньшего количества более близких звезд будет равна общей яркости большего количества более

отдаленных звезд. Что касается второго вопроса, звезды действительно распределены неравномерно, они собираются в галактики, подобно опавшей листве, аккуратно сметенной в груды. Пятна света, находящиеся за пределами нашей галактики, которые мы видим с помощью телескопов, — это другие галактики. Поэтому ответ будет тот же, что и в предыдущем случае, только теперь мы будем принимать в расчет галактики, а не отдельные звезды: разумеется, ночное небо должно быть настолько же ярким, как средняя галактика, не настолько ярким, как поверхность звезды, но все же ослепительным.

На самом деле нет. Как мы вскоре увидим, причина в одной из тех абсолютных истин, касающихся нашей Вселенной, которые нам удалось открыть. Но, чтобы найти решение парадокса, которое всех удовлетворит, вначале нужно разобратся, как он развивался на протяжении веков.

Бесконечное множество звезд

Учитывая, как давно астрономам известен этот парадокс, немного удивительно, что его относят к 1950-м годам, а назван он в честь Генриха Вильгельма Ольберса, физика и астронома-любителя, жившего в немецком городе Бремене в XIX веке. На самом деле до тех пор мало кто из астрономов вообще интересовался этим парадоксом.

В 1952 году великий англо-австрийский космолог Герман Бонди опубликовал учебник, имевший большое влияние, в котором впервые появился термин «парадокс Ольберса». Однако, как мы вскоре увидим, авторство было приписано Ольберсу ошибочно, потому что он не был первым, кто сформулировал эту задачу, а его вклад в ее решение не отличался особой оригинальностью или информативностью.

За столетие до него данный вопрос поднимал Эдмунд Галлей, а еще веком ранее, в 1610 году, о нем писал Иоганн Кеплер. Но даже Кеплер не был первым, кто упомянул эту проблему: за этим нам нужно обратиться к первому переводу на английский язык великой работы Коперника «О вращении небесных сфер», вышедшему в 1576 году (сама работа была написана на несколько десятилетий раньше).

В любой летописи мировой астрономии в главных ролях фигурирует одна и та же горстка личностей. Во-первых, это Птолемей, греческий ученый, живший во II веке н. э. Хотя Птолемей написал один из важнейших научных трактатов в истории («Альмагест»), он ошибочно считал, что Солнце вращается вокруг Земли. Он разработал модель Вселенной, в которой в центре находилась Земля, и эта модель господствовала в умах астрономов всего мира более 1000 лет. Затем Коперник, польский гений XVI века, низверг геоцентрическую систему Птолемея, поменяв местами Солнце и Землю, за что его называют отцом современной астрономии. Кроме того, не следует забывать Галилея. В 1609 году он стал первым астрономом, направившим в небо телескоп; благодаря этому он доказал истинность коперниковской гелиоцентрической модели: Земля действительно вращается вокруг Солнца, как и остальные планеты.

Но Коперник был прав не до конца. Хотя он попал в самую точку, сместив Землю с ее привилегированного места в центре Вселенной, он ошибся, когда просто заменил ее Солнцем, считая, что Солнечная система — это и есть Вселенная. В своем трактате «О вращении небесных сфер», который входит в число работ, по мнению ученых, вызвавших научную революцию в Европе, он приводит изображение модели Солнечной системы. В этой модели Земля расположена правильно: на третьем месте по удаленности от Солнца после

Меркурия и Венеры, при этом Луна — единственное небесное тело, действительно вращающееся вокруг Земли. Затем идут Марс, Юпитер и Сатурн. Пока все правильно (внешние планеты, расположенные за Сатурном, еще не были открыты), однако Коперник сделал одну весьма интересную вещь: он разместил все звезды на фиксированной внешней орбите вокруг Солнца. Таким образом, в его модели Солнце действительно находится в центре всей Вселенной, а не только нашей планетной системы.

Разумеется, теперь мы знаем, что Солнце не имеет какого-то особенного места во Вселенной и находится в одном из внешних рукавов заурядной спиральной галактики в ничем не примечательной части Вселенной. За столетия, в течение которых мы получали все более полные и точные астрономические данные, которые в конечном итоге привели нас к современной космологической модели, мы узнали, что Вселенная вообще не имеет центра и, возможно, действительно простирается во всех направлениях без конца и края. Но, разумеется, Коперник, живший и работавший еще до изобретения телескопа, не мог знать ничего этого.

Следующий огромный шаг вперед сделал малоизвестный астроном, житель сонного английского торгового городка Уоллингфорта, что в окрестностях Оксфорда. Его звали Томас Диггес, родился он в 1546 году, спустя несколько лет после смерти Коперника. Его отец Леонард Диггес был ученым, известным как изобретатель теодолита, инструмента, используемого (в наши дни преимущественно геодезистами) для очень точного измерения вертикальных и горизонтальных углов. В 1576 году Томас опубликовал новое издание популярного альманаха, написанного отцом, под названием *A Prognostication Everlasting* («Вечный прогноз»), дополнив его несколькими приложениями. Среди них, безусловно,

самым значительным был первый английский перевод великой работы Коперника. Просто восхитительно, что его добавили к книге, в которой новая теория Коперника еще не принималась во внимание. Однако Томас Диггес не просто поддержал и опубликовал эту все еще противоречивую картину Вселенной (хотя и это имело огромное значение). Он сделал больше, доработав ее таким образом, что это кажется мне настолько же важным достижением в астрономии, как и то, что сделал Коперник, хотя его работа и не получила признания.

Диггес доработал знаменитую схему Солнечной системы Коперника, в которой звезды неподвижно лежали в наружном слое в виде сферической оболочки, окружающей Солнце, и освободил эти звезды от сковывающих их орбит, разбросав их вокруг в безграничной и бесконечной пустоте. Таким образом, Диггес стал первым астрономом, всерьез рассматривающим идею бесконечной Вселенной, содержащей бесконечное число звезд (хотя греческий философ Демокрит намекал на такую возможность) (рис. 3.1).

Это не было догадкой — убежденность Диггеса в истинности этой новой картины Вселенной сформировалась благодаря событию, произошедшему в 1572 году. Как и множество астрономов по всему миру в тот год, он был ошеломлен появлением на небе новой яркой звезды. В наши дни мы бы сказали, что произошло редкое событие, называемое вспышкой сверхновой: взрыв звезды в конце ее жизни, когда она, израсходовав весь запас ядерного топлива, катастрофически сжимается под действием собственного веса. В результате формируются ударные волны, которые проходят сквозь звезду, выталкивая ее наружные слои в окружающее пространство, вследствие чего происходит последний разрушительный выброс энергии. На самом деле в этом последнем взрыве высвобождается такое огромное количество энергии, что ее достаточно, чтобы

осветить целую галактику. Но в XVI веке такие астрофизические подробности были еще за пределами понимания. Более того, в то время считалось, что поскольку Вселенная за пределами Луны неподвижна и неизменна, то небесный объект, который ярко вспыхнул на какое-то время, а затем погас, должен находиться очень близко к Земле, в пределах орбиты Луны.

Диггес был одним из тех нескольких астрономов (среди них также был великий Тихо Браге), которые рассчитали, что сверхновая 1572 года должна находиться очень далеко от Земли. Поскольку дневного смещения этой звезды относительно других звезд, называемого параллаксом, не наблюдалось, астрономы были вынуждены прийти к выводу, что она находится намного дальше Луны и планет. Это вызвало у астрономов крайнее недоумение: перед ними было небесное тело, внезапно возникшее из ниоткуда. Его назвали новой звездой. В результате ее появления Диггес сделал вывод, что звезды не обязательно находятся на одном и том же расстоянии от нас и что более яркие звезды находятся ближе к нам (это кажется очевидным в наше время), а более тусклые — значительно дальше. Для тех времен эта идея была революционной.

Размышляя над идеей бесконечного пространства с бесконечным числом звезд, Диггес неминуемо должен был прийти к ключевому вопросу: почему ночью небо темное? Однако для астронома никакого парадокса в этом не было. Он предположил, что отдаленные звезды слишком далеки от нас, чтобы добавить хоть немного света в ночную темноту.

Что Диггес упустил, так это необходимые математические расчеты, которые выявили бы ошибку в его объяснении темноты ночного неба. Но этому суждено было случиться позже. В 1610 году Иоганн Кеплер заново рассмотрел этот

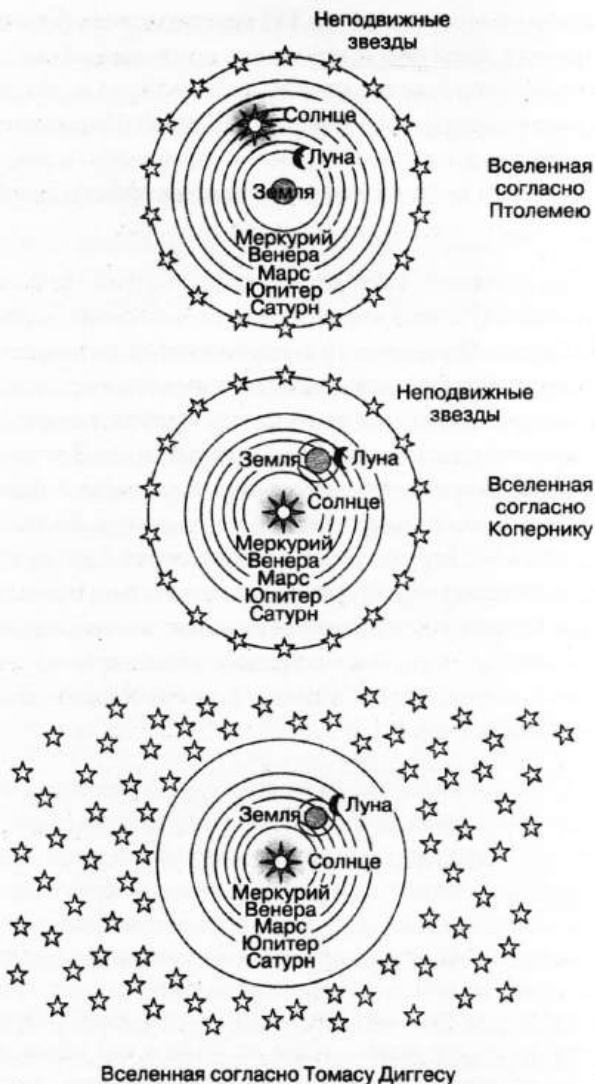


Рис. 3.1. Три модели Вселенной

вопрос. Он считал, что ночью темно, потому что Вселенная конечна: темнота в промежутках между звездами — это темнота внешней стены, ограничивающей Вселенную. Спустя столетие еще один астроном англичанин Эдмунд Галлей, изучив эту проблему, поддержал первоначальное решение Дигтеса: Вселенная бесконечна, но отдаленные звезды светят слишком тускло, чтобы мы смогли их увидеть.

Спустя несколько лет нашелся человек, который доказал, что такой подход не устраняет проблему. Это был швейцарский астроном Жан Филипп де Шезо. С помощью стройных геометрических построений он доказал, что если представить все звезды сгруппированными в бесконечном количестве концентрических сфер вокруг нас, подобно слоям луковицы, и предположить, что средняя яркость всех звезд во Вселенной одинакова¹ (мы знаем, что это не так, однако в рамках данного доказательства подобное предположение допустимо), то звезды во внутренних сферах будут светить ярче, а более отдаленные сферы (поскольку они больше по площади) будут вмещать больше звезд, следовательно, их общая светимость будет равна светимости внутренних сфер. Иными словами, множество более отдаленных и, как следствие, менее ярких звезд вместе дадут столько же света, сколько меньшее количество более близких и более ярких звезд. Итак, похоже, мы вернулись в начало — к аргументу Кеплера о том, что Вселенная не может быть бесконечной, иначе ночное небо не было бы темным.

Затем на сцену выходит Генрих Ольберс, вновь поднявший вопрос темноты ночного неба в своей работе, опубликованной в 1823 году. Он предложил новое решение. Благодаря Шезо он знал, что недостаточная яркость отдаленных звезд

¹ Разумеется, рано или поздно мы выйдем за пределы Млечного Пути, и нам придется рассматривать уже скорее галактики, нежели отдельные звезды.

не поможет решить задачу. Вместо этого он рассудил, что космос наполнен межзвездной пылью и газом, которые должны скрывать от нас свет более отдаленных звезд (или, как мы теперь понимаем, галактик). Чего он не смог понять, так это того, что даже это вещество по прошествии достаточного количества времени постепенно нагреется благодаря поглощенному им свету и, как следствие, в конечном итоге начнет испускать свет такой же яркости, как свет тех звезд (или галактик), которые оно скрывает.

Наша расширяющаяся Вселенная

В 1915 году Альберт Эйнштейн опубликовал величайшую из своих работ. Но это не было его знаменитое уравнение, $E = mc^2$, не было это и его работой о природе света. Речь идет о теории, известной как общая теория относительности, и в ней он описал, как гравитация влияет на пространство и время. В школе мы изучаем определение гравитации, данное Исааком Ньютоном: это невидимая сила, которая притягивает все объекты друг к другу. Разумеется, это в целом правильно и мы всю жизнь живем под воздействием гравитационного притяжения нашей планеты, удерживающего нас на ее поверхности. Закон всемирного тяготения Ньютона также объясняет, почему Луна вращается вокруг Земли и как ее сила притяжения влияет на приливы и отливы, почему Земля вращается вокруг Солнца, подтверждая тем самым гелиоцентрическую модель Солнечной системы Коперника. Именно расчетами на основании ньютоновского закона всемирного тяготения пользовались ученые НАСА, когда отправляли миссии «Аполлон» на Луну. У нас нет никаких сомнений, что этот универсальный закон работает. Однако его точность не абсолютна.

Общая теория относительности Эйнштейна описывает гравитацию совершенно другим и намного более точным образом. Она гласит, что гравитация — это не сила, подобная невидимой натянутой резинке, притягивающей всю материю друг к другу, а скорее это мера деформации самого пространства вокруг любого объекта, имеющего массу. Что ж, в случае, если у вас нет специального образования в области физики, эти слова, без сомнения, мало что значат для вас. Не беспокойтесь, говорят, что, когда Эйнштейн впервые опубликовал свою теорию, в мире нашлось всего двое ученых, кроме него, кто понял ее. К настоящему моменту теорию испытали и проверили настолько сурово, что не остается практически никаких сомнений в ее истинности.

Поскольку наша Вселенная, по сути, представляет собой пространство, наполненное веществом, и это вещество управляется преимущественно гравитацией, Эйнштейн и остальные быстро поняли, что общую теорию относительности, должно быть, можно применить для описания свойств нашей Вселенной в целом. Но вскоре Эйнштейн столкнулся с серьезной проблемой. Если в данный момент времени все галактики во Вселенной неподвижны по отношению друг к другу и Вселенная имеет конечную протяженность, взаимное гравитационное притяжение заставит их соединиться друг с другом, что приведет в конечном итоге к коллапсу Вселенной. В то время общепринятым было мнение, что Вселенная (на уровне галактик и дальше) статична и неизменна. Мысль о развивающейся, динамичной и изменяющейся Вселенной в очень больших масштабах казалась одновременно чуждой и ненужной. Поэтому когда уравнения общей теории относительности показали, что Вселенная должна сжиматься, Эйнштейн решил вместо того, чтобы коренным образом пересмотреть ее, просто внести небольшие поправки. Он рассуждал, что для того,

чтобы уравновесить притяжение гравитации, должна существовать противостоящая ей антигравитационная сила, известная как космическая сила отталкивания, которая уравновесит гравитационное притяжение, удержит галактики на расстоянии друг от друга и поддержит стабильность Вселенной. Предложение Эйнштейна, по сути, было математической уловкой, призванной примирить общую теорию относительности с доминирующей моделью статичной Вселенной.

Однако затем случилось нечто неожиданное. В 1922 году русский космолог Александр Фридман пришел к несколько иному выводу. Что, если Эйнштейн ошибся и не существует антигравитационной силы, удерживающей Вселенную в сбалансированном и стабильном состоянии? Он понимал, что это не обязательно должно значить, что она неизбежно сколлапсирует под воздействием гравитации. Это может также означать, что во Вселенной происходит обратный процесс — она расширяется. Но как такое возможно? Ведь при отсутствии космической силы отталкивания Вселенная должна сжиматься, а не расти? Ну что ж, вот как.

Представьте, что некоторое событие в самом начале заставило Вселенную расширяться — это мог быть взрыв. Гравитационное притяжение всей материи во Вселенной будет замедлять такое расширение. Следовательно, если не существует космической силы отталкивания, способной уравновесить гравитационное притяжение, и если Вселенная в самом начале своей жизни расширялась (по какой-то причине), то к настоящему времени она должна либо расширяться, либо сжиматься. Но что невозможно, так это стабильное состояние: равновесие между расширением и коллапсом. Это неустойчивый вариант.

Продемонстрируем на простом примере. Представьте шар, лежащий на гладкой поверхности, поставленной под углом:

если его положить на середину этой поверхности, он в любом случае скатится вниз. Но если мы смотрим видеозапись, на которой показывают этот шар на наклонной поверхности, и кто-то нажмет на паузу в тот момент, когда шар находится на середине пути вверх (или вниз), и мы попросим кого-то сказать, что произойдет с шаром дальше (когда мы снова включим видео), то, подумав, человек скажет, что шар покатится либо вверх (соответствует расширяющейся Вселенной), либо вниз (соответствует сжимающейся Вселенной), но определенно не останется на месте. Разумеется, единственный вариант, при котором шар может покатиться вверх, — это если мы сознательно толкнем его в данном направлении. В таком случае его движение по наклонной поверхности будет все время замедляться — и в конечном итоге он остановится и покатится назад.

Никто, даже Эйнштейн, не был готов поверить в теорию Фридмана, пока не будут найдены эмпирические доказательства в ее пользу. Это случилось спустя несколько лет. Первым, кто доказал, что за пределами Млечного Пути существуют другие галактики, был астроном Эдвин Хаббл. До тех пор считалось, что маленькие светящиеся пятнышки, которые можно увидеть в телескоп, — это облака пыли (называются небулами), находящиеся в пределах нашей Галактики. Благодаря своему мощному телескопу Хаббл обнаружил, что они слишком далеки, чтобы быть частью Млечного Пути, следовательно, должны представлять собой полноценные галактики. Еще большее значение имело его наблюдение, показавшее, что наиболее удаленные из этих галактик летят прочь от нас на скорости, зависящей от расстояния до них. Такая картина, похоже, наблюдалась везде, куда бы он ни направил свой телескоп. Так Хаббл доказал, что идея Фридмана о расширяющейся Вселенной была верной.

Хаббл верно рассудил, что поскольку Вселенная расширяется, то в прошлом она должна была быть меньше. Следовательно,

если мы вернемся назад во времени достаточно далеко, то достигнем момента, когда все галактики наслаивались друг на друга и во Вселенной было довольно-таки тесно. По мере продвижения все дальше назад во времени материя будет становиться все более сжатой, пока мы не достигнем момента рождения Вселенной — величайшего взрыва, который мы теперь называем Большим (этот термин впервые использовал астрофизик Фред Хойл в 1950-е годы).

Стоит отметить одно распространенное заблуждение, касающееся расширения Вселенной. Оно заключается в том, что все остальные галактики будто бы разлетаются в стороны от нашей. Это не так. На самом деле само пространство между галактиками расширяется. Нелишне упомянуть еще один интересный факт: наша ближайшая соседка Андромеда приближается к нам! Согласно текущей оценке скорости расширения Вселенной, она должна удаляться от нас на скорости 50 км/с. Вместо этого она движется к нам со скоростью 300 км/с! Причина заключается в том, что, как и звезды в галактиках, сами галактики распределены по Вселенной неравномерно. Хаббл наблюдал скорее очень далекие галактики, удаляющиеся от нас, нежели движение тех галактик, которые образуют нашу местную группу.

На скорости, с которой сближаются наша галактика и Андромеда, можно совершить кругосветное путешествие за две минуты или преодолеть расстояние от Земли до Солнца за неделю. На самом деле траектория движения этих галактик в конечном итоге приведет их к столкновению, однако при текущей скорости пройдет несколько миллиардов лет, прежде чем галактики сольются.

Еще один момент, который нужно упомянуть, рассказывая о расширении Вселенной, заключается в том, что скорость

ее расширения увеличивается. Похоже, помимо того, что гравитация не замедляет расширение, что-то еще более сильное заставляет галактики разбегаться друг от друга с нарастающей скоростью. Оказывается, здесь действует некая мистическая сила антигравитации, за неимением лучшего определения названная темной энергией. То есть идея Эйнштейна о силе космического отталкивания оказалась вовсе не безумной, но теперь вместо того, чтобы поддерживать стабильное состояние Вселенной, похоже, эта сила растягивает Вселенную в стороны.

Доказательство Большого взрыва

Осознания того, что Вселенная расширяется, достаточно для того, чтобы решить парадокс Ольберса. Но давайте сделаем еще один шаг вперед и докажем, что она расширяется, потому что в прошлом произошел Большой взрыв. Помимо неопровержимых доказательств, связанных с расширением пространства, теория Большого взрыва в наши дни подтверждается еще двумя ключевыми фактами. Первый касается относительной доли различных химических элементов во Вселенной (называется распространенностью элементов). Факт состоит в том, что большая часть существующих атомов — это водород и гелий, два самых легких элемента, а все остальные (кислород, железо, азот, углерод и т. д.), вместе взятые, составляют лишь крошечную долю материи. Единственное удобоваримое объяснение этому заключается в том, что Вселенная изначально была очень горячей и плотной, а затем стремительно остыла по мере расширения.

В момент Большого взрыва, задолго до того, как смогли сформироваться звезды и галактики, все вещество во Вселенной было сжато вместе и не было никакого пустого

пространства. Практически мгновенно (значительно меньше чем за секунду) после Большого взрыва начали формироваться субатомные частицы; поскольку Вселенная расширялась и остывала, эти частицы смогли соединиться вместе, образуя атомы. При этом температура и давление должны были быть в точности подходящими для формирования атомов. Если бы температура была слишком высокой, атомы не смогли бы уцелеть (их разнесло бы вдребезги в лихорадочном водовороте высокоскоростных частиц и излучения). Когда Вселенная еще немного расширилась, температура и давление упали до слишком низких значений, чтобы атомы водорода и гелия могли соединиться и сформировать другие (более тяжелые) элементы. Именно поэтому в ранней Вселенной образовались в основном водород и гелий (этот процесс протекал в течение нескольких первых минут после Большого взрыва). Практически все остальные элементы еще формировались в недрах звезд, где вновь образовались условия сверхвысоких температуры и давления и где в процессе термоядерного синтеза более легкие атомы слились, образовав более тяжелые.

Итак, теория Большого взрыва — единственная теория, дающая верное соотношение водорода и гелия во Вселенной, наблюдаемое астрономами сегодня.

Еще одно доказательство в поддержку Большого взрыва (как и расширения Вселенной) было теоретически предсказано еще до того, как его подтвердили экспериментально. Нам известно, что большинство фотонов, летящих через космос, не имеют отношения к звездному свету. Вселенную наполняет древний свет, появившийся еще до того, как образовались звезды и галактики. Менее чем через миллион лет после Большого взрыва начали формироваться первые атомы. В этот момент пространство стало прозрачным для фотонов,

и освободившееся излучение смогло начать свое путешествие на огромные расстояния. Этот свет, зарево того самого первого рассвета Вселенной, с тех пор растянулся, потому что пространство, сквозь которое он летит, расширилось. Ученые рассчитали, что к настоящему времени длина волны этого излучения настолько увеличилась, что оно вышло за пределы видимого диапазона. На самом деле теперь это волны микроволнового диапазона. Именно поэтому излучение называют космическим микроволновым фоном.

Данное излучение, пронизывающее всю Вселенную, можно уловить с помощью радиотелескопов в виде слабого сигнала, идущего из глубокого космоса. Впервые ученые это сделали в 1960-е годы и с тех пор повторяли много раз с нарастающей чувствительностью. Это может показаться невероятным, но мы можем услышать шелест этих слабых волн, улавливаемых радиоприемниками и телевизорами.

Итак, тот факт, что Вселенная имела начало, больше не вызывает сомнений. Три доказательства этому — микроволновое фоновое реликтовое излучение (отблеск Большого взрыва) с длиной волны, полностью соответствующей теоретически предсказанной; соотношение различных химических элементов во Вселенной; расширение пространства, наблюдаемое с помощью телескопов. Все эти три факта свидетельствуют, что Вселенная появилась именно таким образом.

Теперь мы можем наконец отправить парадокс Ольберса на полку истории.

Окончательное решение

Давайте подведем итоги. Причина того, что ночью небо темное, заключается не в том, что Вселенная имеет конечные

размеры. Насколько нам известно, она вполне может простираться бесконечно. Причина также не в том, что свет отдаленных звезд слишком слаб (чем дальше мы смотрим, тем больше увидим галактик, полных звезд, чей совокупный свет заполнит темные пробелы между звездами нашей собственной Галактики). Она и не в том, что свет от самых дальних рубежей закрывают от нас облака пыли и газа, поглощающие его. По прошествии достаточного времени это промежуточное вещество начнет испускать свет, постепенно накапливая в себе световую энергию, которую поглощает. Нет, истинная причина того, что космос имеет черный цвет, намного проще и глубже, чем любое из предложенных выше объяснений. Ночное небо темное, потому что Вселенная имела начало.

Свет движется с головокружительной скоростью — более 1 миллиарда километров в час. На такой скорости можно семь раз облететь вокруг Земли за одну секунду. Это космический предел скорости в нашей Вселенной. Ничто не может двигаться быстрее света. При этом дело скорее не в том, что свет какой-то особенный, а в том, что скорость сама по себе является частью ткани пространства и времени. Свет ничего не весит, и именно благодаря этому он может путешествовать на предельной космической скорости. Эйнштейн блестяще доказал это в своей первой теории относительности, известной как специальная (с ней мы еще встретимся в последующих главах), в 1905 году. И да, если хотите знать, именно эта теория приводит к известному уравнению $E = mc^2$.

Но все же в космических масштабах скорость света не столь впечатляет. Дело в том, что расстояния между нами и другими звездами нашей Галактики, не говоря уже о расстояниях между галактиками, настолько огромные, что даже от ближайших соседей свет идет к нам годами.

Именно *предельность* скорости света помогает нам решить парадокс Ольберса. Поскольку Вселенной примерно 14 миллиардов лет, мы способны увидеть только те галактики, которые расположены достаточно близко, чтобы свет от них успел дойти до нас. Расширение пространства, разумеется, затрудняет ситуацию. Свет от галактики, лежащей, скажем, в 10 миллиардах световых лет от нас, шел к нам в течение 10 миллиардов лет. Но за это время пространство между нами и этой галактикой расширилось, поэтому в текущий момент расстояние между нами в несколько раз больше. Однако галактика, находящаяся от нас на расстоянии, в два раза больше этого, находится за пределами нашей видимости (свет от нее все еще в пути к нам, и мы не можем его увидеть). Поэтому она никак не может повлиять на светимость ночного неба. Мы можем заглянуть в космос только на то расстояние, на которое позволяет это сделать возраст нашей Вселенной.

Таким образом, то, что мы видим, глядя в небо, всего лишь крошечная часть космоса. Мы называем это видимой частью Вселенной и не в состоянии даже с помощью самых мощных телескопов увидеть что-либо за пределами этой границы в пространстве. Причина в том, что это одновременно и граница во *времени*. Чем дальше мы заглядываем, тем больше углубляемся в прошлое. Свет, который мы видим, — это свет, покинувший свой источник миллиарды лет назад, а значит, мы видим то, что было, а не то, что есть сейчас. Край видимой части Вселенной, таким образом, это также самый первый момент времени, — это и есть последняя тонкость, касающаяся расширения пространства. Даже если бы бесконечная *статическая* (нерасширяющаяся) Вселенная внезапно возникла 14 миллиардов лет назад, мы все равно не смогли бы заглянуть за пределы этих 14 миллиардов световых лет. То есть не расширение само по себе мешает нам увидеть

бесконечность (даже если бы мы смогли подождать достаточно долго, живя в статичной Вселенной, то свет от наиболее далеких галактик в конечном счете дошел бы до нас). Дело в том, что за пределами нашей видимой части Вселенной свет никогда не сможет догнать расширение (это подобно слишком медленному движению вниз по эскалатору, едущему вверх).

В предыдущей главе я отметил, что для того, чтобы решить парадоксы Зенона, нужен не абстрактный логический, а скорее строгий научный подход. Но в случае парадокса Ольберса первое верное решение появилось благодаря интуитивной логике, нежели настоящей науке. Причем исходило оно из самого необычного источника — американского писателя и поэта XIX века Эдгара Аллана По.

За год до своей смерти в возрасте 40 лет По опубликовал эссе «Эврика. Поэма в прозе» (1848), которое считается одной из самых важных и влиятельных его работ. Это выдающееся литературное произведение является переработкой прочитанной Эдгаром По лекции под названием «Опыт о вещественной и духовной Вселенной». В ней отсутствует убедительность настоящей научной работы, скорее речь идет об интуитивном озарении По относительно законов природы. В некотором смысле это трактат по космологии, в котором По размышляет о происхождении Вселенной, ее эволюции и ее конце — при этом он опирается скорее на смесь из логики и домыслов, нежели на обоснованные с точки зрения прикладной науки идеи. К примеру, По разработал собственный, в целом ошибочный, взгляд на то, как законы Ньютона влияют на формирование и вращение планет. Тем не менее в его эссе содержится следующий знаменитый пассаж¹:

¹ Перевод К. Бальмонта.

«Если бы непрерывность звезд была бесконечна, тогда бы заднее поле неба являло нам единообразную светимость, подобную исходящей от Млечного Пути, ибо, безусловно, не было бы точки на всем этом заднем поле, где не существовало бы звезды. Единственный способ поэтому при таком положении вещей понять пустоты, что открывают наши телескопы в бесчисленных направлениях, предположить, что рассеяние¹ от незримого заднего фона так несметно, что ни один его луч доселе совершенно не мог нас достигнуть».

Итак, вот оно. Первым правильное решение парадокса Ольберса нашел не ученый, но поэт. Некоторые историки утверждают, что это описание По не более чем догадка и что только после того, как один из величайших ученых XIX века Лорд Кельвин провел все соответствующие расчеты и опубликовал их в 1901 году, мы можем говорить о том, что парадокс действительно был разрешен. Но Кельвин, по сути, представил математическое доказательство идеи По. По нраву нам это или нет, По был совершенно прав.

Итак, ответим на наш изначальный вопрос: *почему ночью темнеет?* Потому что Вселенная началась с Большого взрыва.

Окончательное решение и доказательство Большого взрыва

Ученых часто спрашивают, какие у них есть доказательства того, что Большой взрыв действительно имел место. Как правило, они приводят три стандартных доказательства, о которых я рассказывал ранее. Но не будет ли намного проще и, на мой взгляд, убедительнее просто вывернуть наизнанку парадокс Ольберса? Вместо того чтобы говорить, что ночью

¹ В оригинале distance — «расстояние».

темнеет из-за того, что у Вселенной было начало и что поэтому свет, летящий из-за пределов некоторого расстояния, не успел до нас добраться, почему не попытаться посмотреть на все это с другой стороны? Если кто-то захочет убедиться, что Большой взрыв действительно произошел, им нужно всего лишь выйти ночью на улицу и поразмышлять над темнотой космического пространства.

Настоящая загадка заключается в том, почему астрономам понадобилось так много времени, чтобы понять это.

Глава 4

Демон Максвелла

Можно ли создать вечный двигатель?

Если бы вы оказались в компании физиков и спросили у каждого, какую идею они считают самой важной в истории науки, возможно, вы ожидали бы услышать множество разных ответов (идея, что все на свете состоит из атомов, теория эволюции Дарвина, строение ДНК, теория Большого взрыва...). На самом деле с большой вероятностью все они проголосуют за так называемый второй закон (или второе начало) термодинамики. В данной главе мы рассмотрим эту важную идею, а также парадокс, из-за которого она более 100 лет провисела на волоске.

В основе парадокса демона Максвелла лежит довольно простая идея, однако она завладела умами множества величайших ученых и даже породила новые научные дисциплины. Все это благодаря тому, что она ставит под сомнение один из самых священных законов природы — второе начало термодинамики (простое, но глубокое утверждение, описывающее передачу тепла и энергии и способы их использования).

Второе начало термодинамики гласит, что если вы, скажем, насадите замороженную курицу на бутылку с горячей водой (этот пример предложили члены моей семьи, когда я попробовал объяснить им этот закон), то курица слегка оттает, а вода немного остынет. Ни при каких условиях тепло не пойдет в обратную сторону: горячая вода не станет еще горячее, а курица не остынет еще больше. Тепло всегда перемещается от более горячих тел к более холодным и никогда наоборот, и оно не прекратит перераспределяться, пока не будет достигнуто тепловое равновесие, при котором между объектами уже не будет разницы в температуре. Никакого противоречия здесь нет, подумайте вы.

Теперь давайте рассмотрим задачу демона Максвелла. Вот для начала краткое описание изначальной идеи. Представьте себе герметичный сосуд, содержащий только воздух и разделенный на две половины толстой изолирующей перегородкой. В середине этой перегородки есть дверца, которая, когда к ней приближается молекула воздуха, очень быстро открывается и закрывается, пропуская молекулу в другую часть сосуда. Давление с обеих сторон остается одинаковым, поскольку когда с одной стороны число молекул увеличивается, то повышается вероятность того, что молекулы из этой части подлетят достаточно близко к дверце и переместятся на другую сторону, снова уравнивая давление по обе стороны (рис. 4.1).

Этот процесс может продолжаться бесконечно, и с обеих сторон будет все время поддерживаться одинаковая температура. Чтобы объяснить почему, мне придется дать определение понятию температуры газа на молекулярном уровне. В сущности, чем быстрее движутся молекулы, тем горячее будет газ. Все газы, включая смесь, известную как воздух, состоят из триллионов молекул, движущихся хаотично и с разной скоростью (одни быстрее, другие медленнее). Но их совокупная

средняя скорость будет соответствовать определенной температуре. Внутри сосуда некоторые молекулы, проходящие через перегородку, будут иметь бóльшую скорость, чем остальные (более медленные) молекулы. В среднем в обе стороны перегородку пересекает примерно одинаковое количество быстрых и медленных молекул, следовательно, разница температур не образуется. Если вы полагаете, что более быстрые молекулы смогут проникать через отверстие чаще, чем более медленные, то, вероятно, вы правы, однако это не влияет на суть, так как сколько бы быстрых молекул ни перешло слева направо, столько же перейдет в обратном направлении.

Если пока все понятно, думаю, настал момент выпустить демона.

Демон Максвелла — это гипотетическое крошечное существо, обладающее настолько хорошим зрением, что может рассмотреть отдельные молекулы воздуха и оценить их скорость. Теперь вместо того, чтобы позволить дверце открываться и закрываться случайным образом, мы поручим демону контролировать ее открытие. Хотя через открытую дверь будет проникать столько же молекул, сколько и раньше, теперь нужно учитывать еще один фактор: информацию, известную демону. Потому что он собирается пропускать слева направо только быстрые молекулы, а справа налево — только медленные. Учитывая работу демона-привратника, вооруженного такими знаниями, а также не прилагая больше никаких усилий и не имея никаких дополнительных энергозатрат (вспомним, что и до этого дверца все равно открывалась и закрывалась случайным образом), мы обнаружим, что исход окажется совершенно иным.

В этом месте так и подмывает провести параллель с ролью, которую играли знания ведущего телеигры в парадоксе

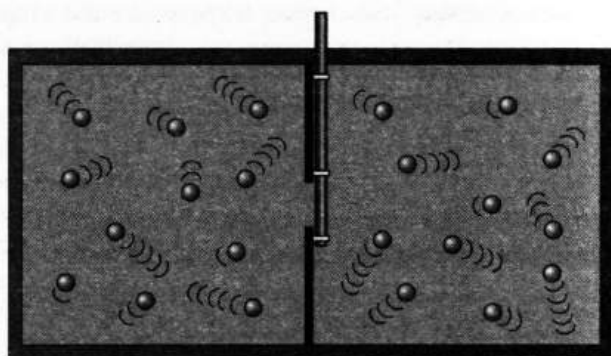
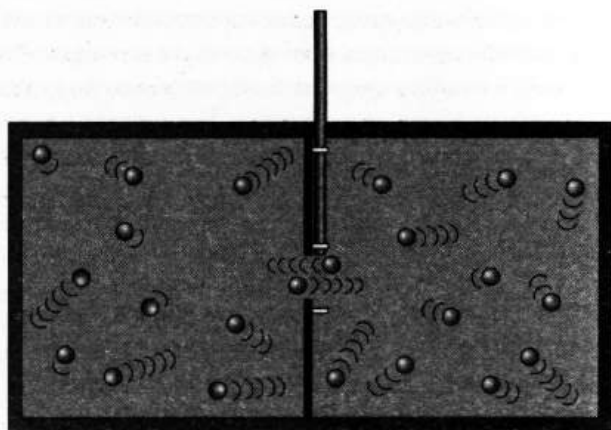
*a**б*

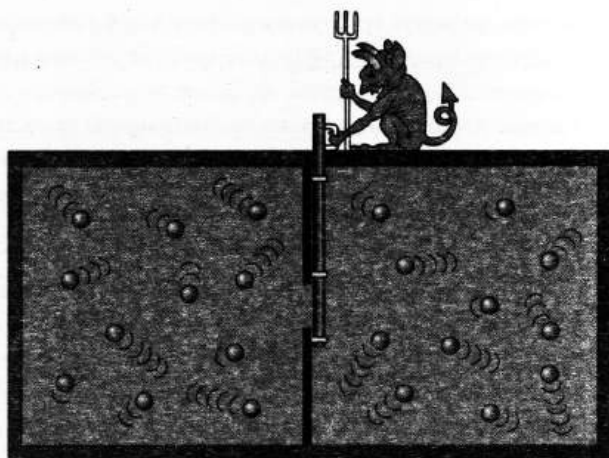
Рис. 4.1. Сосуд Максвелла, заполненный воздухом:
a — до; *б* — после

Монти Холла из главы 1. Не попадайтесь в эту ловушку. Тот факт, что ведущий знал, за какой дверью спрятан приз, влиял только на расчет вероятностей, не более того. Знания демона Максвелла играют куда более значительную роль и, как мы вскоре увидим, являются центральным звеном всего физического процесса, который нам понадобится вскрыть, чтобы разрешить этот парадокс.

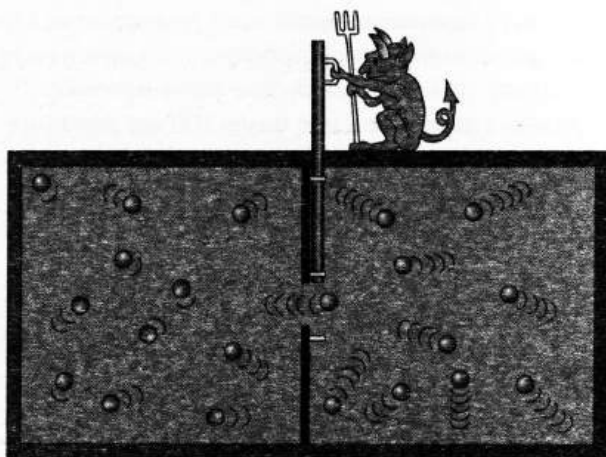
Благодаря дежурящему у двери демону правая сторона сосуда постепенно наполняется быстрыми молекулами и становится горячее, в то время как с левой стороны накапливаются медленные молекулы, следовательно, она остывает. А благодаря осведомленности демона нам, судя по всему, удалось создать разницу температур между двумя половинами сосуда и нарушить тем самым второй закон термодинамики (рис. 4.2).

Итак, похоже, с помощью одной лишь информации демону Максвелла удалось обернуть вспять процесс, подчиняющийся второму закону термодинамики. Как такое возможно? Множество великих умов в течение более 100 лет пытались разгадать этот парадокс. Вскоре вы узнаете, как его удалось решить. Как и все кажущиеся парадоксы в этой книге, в конце концов он *поддается* решению, и второй закон будет спасен.

Причина, по которой эта тема до сих пор столь актуальна, заключается в ее связи с вечными двигателями — устройствами, якобы способными работать бесконечно, совершенно не потребляя энергии. Ведь если демон Максвелла способен нарушить второй закон термодинамики, значит, потенциально возможно создать машину, которая будет делать то же самое. Чуть позже в этой главе я рассмотрю несколько типов таких устройств. Надеюсь, к тому моменту у вас не останется особых сомнений в невозможности их существования.



а



б

Рис. 4.2. Демон Максвелла:

а — до; б — после

Всё раскручивается, смешивается и скатывается по наклонной

Всего существует четыре закона термодинамики, и все они имеют отношение к тому, как энергия и тепло превращаются друг в друга, но второе начало важнее всех остальных. Меня всегда забавляло, что один из самых главных законов во всей физике не смог выбиться даже на первое место в списке.

Первый закон термодинамики очень прост и гласит, что энергию можно перевести из одной формы в другую, однако нельзя создать или уничтожить. Обычно его формулируют немного сложнее: *изменение внутренней энергии системы равно количеству теплоты, переданной этой системе, за вычетом работы, совершенной системой над внешней средой.* По сути, это значит, что любому телу требуется энергия, чтобы сделать что-нибудь, — машине нужно топливо, компьютеру нужно электричество, мы потребляем энергию, чтобы жить, поэтому нам нужна еда (все это примеры того, что системы должны поглощать энергию в различных формах, чтобы совершать так называемую полезную работу). Слово «полезная» в этом контексте подчеркивает, что некоторые формы энергии расходуются непродуктивно, например шум работающего мотора или тепло, образующееся при трении, просто рассеиваются в окружающей среде. Следовательно, первое начало термодинамики просто закладывает основы для более важного второго начала. Второй закон термодинамики гласит, что всё изнашивается, охлаждается, разматывается, стареет и разлагается. Он объясняет, почему сахар растворяется в горячей воде, но не кристаллизуется обратно. Он также объясняет, почему кубик льда неизбежно растает в стакане воды, поскольку тепло

всегда будет переходить от более теплой воды к более холодному льду и никогда наоборот.

Но почему должно быть именно так? Если бы мы смогли посмотреть на мир с точки зрения столкновений и взаимодействий отдельных атомов и молекул, то нам не удалось бы определить, куда движется время. Я имею в виду, что если бы мы увидели этот процесс на видео, то не смогли бы понять, идет ли оно в прямом или обратном направлении. Причина заключается в том, что в масштабе атомов все физические процессы обратимы. Если нейтрино взаимодействует с нейтроном, на их месте образуются протон и испускается электрон, но аналогичным образом при столкновении протона и электрона образуется нейтрон и испускается нейтрино. Законы физики допускают ход и того и другого процесса в прямом и обратном временном направлении.

Это резко контрастирует с событиями, происходящими вокруг нас в повседневной жизни, где у нас не возникает сложностей с определением хода времени. К примеру, вы не увидите, что дым летит по направлению к трубе и втягивается в нее аккуратной воронкой. Точно так же вам не удастся «вымешать» обратно сахар, растворенный в чашке кофе, и увидеть, как кучка пепла снова превращается в полено. Чем же отличаются эти события от тех, что происходят на уровне атомов, из которых все состоит? Как так вышло, что большинство процессов, происходящих вокруг нас, никогда не обернутся вспять? На каком этапе, если двигаться от атомов к дымящим трубам, чашкам кофе и поленьям, действия становятся необратимыми?

При более внимательном рассмотрении оказывается, что дело не в том, что описанные выше процессы *никогда* не обернутся вспять, а скорее в том, что такой поворот событий

крайне маловероятен. С точки зрения законов физики растворенный сахар при помешивании вполне может «собраться заново» и превратиться в кубик. Но если бы нам пришлось увидеть такое, мы бы заподозрили какой-то фокус — и были бы совершенно правы, ведь вероятность подобного события настолько ничтожна, что ею можно пренебречь.

Чтобы помочь вам чуть лучше понять второй закон, мне придется познакомить вас с понятием энтропии. В этой главе она будет играть немалую роль, поэтому стоит хорошенько разобраться в том, что это такое. Однако мне надо вас предупредить, что как бы я ни старался объяснить это явление, у вас может остаться ощущение, будто смысл немного ускользает от вас.

Понятию энтропии не так просто дать определение, ведь то, что оно обозначает, зависит от описываемой ситуации. Вот несколько наглядных примеров. Одно из определений гласит, что энтропия — это мера неупорядоченности, мера того, насколько все перемешано между собой. Новая колода, в которой карты разложены по мастям и в каждой масти упорядочены по возрастанию (двойка, тройка, четверка... валет, дама, король, туз), имеет низкую энтропию. Если мы несколько раз перетасуем карты, порядок нарушится — и уровень энтропии колоды возрастет. Теперь можно спросить: что произойдет с упорядоченностью колоды, если мы продолжим ее тасовать? Ответ очевиден. Намного вероятнее то, что карты перемешаются еще сильнее, чем то, что они вернутся к изначальной упорядоченной последовательности. Итак, энтропия будет стремиться к увеличению по мере того, как мы будем тасовать карты. Когда карты полностью перемешаются, энтропия достигнет высшей точки — и дальнейшее тасование не перемешает колоду сильнее. Неперемешанная колода представляет собой уникальную последовательность

карт, в то время как вариантов расположения карт в перемешанной колоде великое множество, поэтому намного вероятнее, что тасование карт будет идти в одном направлении: от порядка к беспорядку, от низкой энтропии к высокой (рис. 4.3). Этот процесс так же необратим, как в случае с частично растворенным кубиком сахара, который при дальнейшем помешивании продолжит растворяться.

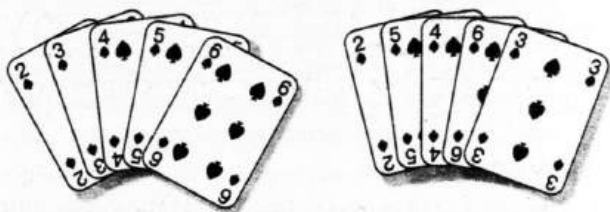


Рис. 4.3. Энтропия как мера неупорядоченности.

Последовательность из пяти карт слева имеет меньшую энтропию, нежели последовательность карт, изображенная справа

Таким образом, мы видим, что второй закон термодинамики скорее имеет статистическую природу, нежели основывается на каком-то особенном свойстве физического мира. Просто вероятность того, что состояние низкой энтропии перейдет в состояние высокой энтропии, в огромное количество раз больше вероятности обратного процесса.

Приведу пример, чтобы вы смогли оценить рассматриваемый здесь уровень вероятности. Если вы возьмете полностью перемешанную колоду карт, то вероятность того, что при дальнейшей перетасовке получите рядом карты каждой масти, причем расположенные по возрастанию, примерно равна вероятности выиграть джекпот в лотерее не раз и не два, а девять раз подряд!

С другой стороны, энтропию также можно рассматривать как меру возможности какого-либо объекта тратить энергию на выполнение какой-либо задачи. В этом случае чем больше энергии можно израсходовать, тем ниже должна быть энтропия. К примеру, полностью заряженная батарея имеет низкий уровень энтропии, нарастающий по мере того, как батарея используется. Заведенная до упора заводная игрушка имеет низкий уровень энтропии, но по мере раскручивания механизма он нарастает. Когда механизм перестанет крутиться, мы можем снизить энтропию игрушки до изначального низкого уровня, потратив собственную энергию на то, чтобы снова ее завести.

Второй закон термодинамики — это, по сути, тезис об энтропии (а именно: она всегда нарастает и никогда не снижается, кроме тех случаев, когда на это расходуется дополнительная энергия извне). Поэтому в примере с механической игрушкой второй закон не нарушается, когда мы заводим ее, поскольку система (заводная игрушка) более не изолирована от окружающей среды (нас). Энтропия игрушки снижается, однако мы «совершаем работу», заводя ее механизм, и наш уровень энтропии повышается настолько, что это более чем компенсирует снижение энтропии игрушки. Следовательно, суммарная энтропия системы «игрушка + мы» повышается.

Второй закон также определяет направление, в котором течет время. Это утверждение может показаться вам довольно банальным: разумеется, время движется от прошлого к будущему. Однако «от прошлого к будущему» — всего лишь способ, с помощью которого мы описываем этот процесс. Чтобы подобрать более научное определение, давайте представим, что во Вселенной нет никакой жизни, чтобы избежать своего субъективного деления времени на прошлое

(то, что уже произошло) и будущее (то, чему еще предстоит случиться). Оказывается, что теперь, когда мы исключили из процесса самого себя и субъективное восприятие, определение времени с точки зрения физических процессов, согласно которому время течет в сторону увеличения энтропии, становится гораздо важнее. Это определение применимо не только к отдельным системам, но и ко всей Вселенной. Теперь вы понимаете, что, если кому-то вдруг придется столкнуться с ситуацией, когда энтропия *изолированной* системы будет снижаться, значит, само время обратило свой ход вспять, а это звучит слишком странно, даже чтобы просто рассуждать об этом (во всяком случае в этой главе!).

Вот что говорил о важности второго закона термодинамики английский астроном Артур Эддингтон:

«Закон, согласно которому энтропия все время возрастает, — второй закон термодинамики — занимает, по моему мнению, высшее положение среди всех законов Природы... Если обнаруживается, что ваша теория противоречит второму закону термодинамики, я не думаю, что у нее есть какие-то шансы; этой теории остается лишь потерпеть унижительное поражение»¹.

Бывают случаи, когда нам кажется, будто энтропия снижается. К примеру, наручные часы — это в высшей степени упорядоченная и сложная система, состоящая из множества кусочков металла. Это нарушает второй закон термодинамики? На самом деле нет. Это просто более сложная версия примера с заводной игрушкой. Часовщик приложил определенные усилия к созданию часов, немного увеличив тем самым собственную энтропию. Вдобавок в процессе выплавки руды

¹ Цит. по: Каку М. Параллельные миры: об устройстве мироздания, высших измерениях и будущем Космоса / Пер. с англ. — М.: София, 2008.

и обработки металлов образовалось некоторое количество рассеянного тепла, которое более чем компенсирует небольшое снижение энтропии, достигнутое созданием часов.

Вот почему демон Максвелла представляет для нас такую загадку. Похоже, что он способен добиться чего-то похожего на то, что делает часовщик, снижая энтропию в коробке путем упорядочения молекул воздуха, при этом непосредственно не перемещая их физически. Есть общее правило, согласно которому, если нам кажется, что энтропия снижается, обязательно выяснится, что рассматриваемая система не была изолирована от окружающей среды, а рассмотрев ситуацию в более общем плане, мы увидим, что общая энтропия повышается. Многие процессы, происходящие на Земле (от эволюции жизни до возведения высокоупорядоченных и сложных сооружений), уменьшают энтропию на поверхности планеты. Все объекты на Земле (от кошки и клюшки до компьютера и кочана капусты) находятся в состоянии меньшей энтропии, чем их составные компоненты. В остальном второй закон термодинамики никогда не нарушается. Не следует забывать, что даже наша планета не изолирована от окружающей ее среды. В конце концов, практически вся жизнь на Земле (а значит, и все структуры с низкой энтропией) существует благодаря солнечному свету. Если мы рассмотрим объединенную систему «Солнце + Земля», то увидим, что общая энтропия увеличивается, поскольку излучение, которое Солнце испускает в пространство (Землей поглощается лишь малая его часть), вызывает куда более значительный рост энтропии, чем ее снижение на Земле, где солнечные лучи используются для поддержания жизни, а следовательно, всех прочих сложных систем с низкой энтропией. К примеру, капуста поглощает солнечную энергию путем фотосинтеза и использует ее для своего роста,

увеличивая количество высокоорганизованных клеток, из которых она состоит, и тем самым снижая свою энтропию.

Итак, теперь вы понимаете, почему все эти годы ученых не оставляла в покое задача смоделировать ситуацию, в которой бы нарушился второй закон термодинамики. Наиболее выдающимся из этих ученых был шотландский математик и физик Джеймс Клерк Максвелл, живший в XIX веке. Известность ему принесло открытие, что свет состоит из колеблющихся электрических и магнитных полей. В 1867 году он прочел открытую лекцию, в ходе которой описал свой знаменитый мысленный эксперимент с воображаемым демоном, контролирующим дверцу между двумя отделениями сосуда и намеренным бросить вызов второму закону термодинамики. По отношению к дверце он выполняет функцию обратного клапана, пропускающего энергичные «горячие» молекулы воздуха только в одну сторону, а медленные «холодные» молекулы — в другую. Так он сортирует молекулы, делая воздух с одной стороны горячее, а с другой — холоднее. Это полностью противоречит второму закону термодинамики, поскольку никакой дополнительной энергии на открытие и закрытие дверцы, по-видимому, не расходуется, ведь, как уже было сказано ранее, она в любом случае открывается и закрывается случайным образом. Но все же общая энтропия в сосудах, похоже, падает по мере того, как молекулы внутри сортируются по двум отсекам.

Обратный клапан

Итак, с какой же стороны подойти к решению этого парадокса? Может ли демон Максвелла снизить энтропию внутри сосуда? А если это так, как же нам спасти второй закон термодинамики? Давайте сперва рассмотрим задачу так, как это

сделал бы любой физик: уберем все детали, не имеющие критического значения (в этом случае заменим демона простым механическим устройством, которое может выполнять ту же работу). Теперь стоит спросить, существует ли механический процесс, с помощью которого можно воспроизвести действия демона. Ответ «да» — демон в известном смысле действует как обратный клапан. Теперь разберемся, можно ли с помощью такого клапана создать дисбаланс между двумя частями сосуда, снижая его энтропию, что предоставит нам возможность собирать энергию. Еще на предварительном этапе исследования сама возможность этого должна вызвать некоторые сомнения. В конце концов, если бы это было возможно, проблемы мировой энергетики были бы решены. Одного этого достаточно, чтобы возможность такого процесса показалась крайне маловероятной.

Но все же как мы можем быть уверены, что с помощью обратного клапана невозможно собирать энергию из равновесного состояния? Может быть, второй закон термодинамики не так уж незыблем. В конце концов, все верили в непогрешимость закона всемирного тяготения Ньютона, пока не явился Эйнштейн, заменивший его более точной и в корне отличной общей теорией относительности. Возможно, второй закон термодинамики имеет незаметную лазейку, которая только и ждет, чтобы кто-то достаточно умный, смелый и наделенный воображением использовал ее, заменив второй закон более удачной теорией?

К сожалению, ответ «нет». Закон всемирного тяготения Ньютона основан на математической формуле, которая описывает процессы, наблюдаемые в природе, а именно то, как объекты притягиваются друг к другу в зависимости от их масс и расстояния между ними. Эйнштейн доказал не ошибочность, но приближительность этой формулы, а также

то, что гравитацию можно описать на более фундаментальном уровне, сквозь призму кривизны пространства и времени, и, к сожалению, с помощью куда более сложных математических вычислений.

Второй закон термодинамики не таков. Пусть он и возник благодаря наблюдениям, его обоснование строится на чистой логике и статистике, и теперь в его поддержку имеются куда более точные и надежные данные, нежели какие бы то ни было наблюдения. Сам Эйнштейн писал, что это «единственная теория общего содержания, относительно которой я убежден, что в рамках применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута»¹.

Так что давайте установим в сосуде упрощенную версию демона Максвелла и посмотрим, что из этого выйдет. Если вы согласны, что любой дисбаланс между отсеками сосуда, который установится спонтанно и постепенно, вызовет соответствующее снижение энтропии, то вам придется согласиться и с тем, что вместо разницы температур мы можем рассматривать разницу давления. В конце концов, такую ситуацию также можно использовать для выполнения полезной работы (как мы вскоре увидим), и при этом энтропия также будет ниже, чем в случае, когда с обеих сторон давление одинаково. Однако теперь мы будем рассматривать ситуацию, когда благодаря более высокому давлению с одной стороны сосуда больше молекул, а не ту, когда молекулы с одной стороны движутся быстрее, чем с другой. Именно это мы подразумеваем, когда говорим о давлении на молекулярном уровне: количество молекул, ударяющихся о стенки сосуда.

Чтобы понять, как можно использовать разницу в давлении для выполнения полезной работы, рассмотрим, что будет,

¹ Цит. по: Эйнштейн А. Сборник научных трудов. — М.: Наука, 1967. Т. 4.

если вручную открыть перегородку между двумя половинами. Если в одной из них содержится воздух под более высоким давлением, он устремится в другую половину, уравнивая давление (с соответствующим повышением уровня энтропии). Этот поток воздуха можно использовать для выполнения полезной работы. К примеру, он может раскрутить воздушную турбину и выработать немного электричества. Разумеется, создание такой разницы в давлении будет сходно накоплению энергии, как это происходит при заводе механической игрушки или зарядке батареи. Чтобы такое произошло спонтанным образом, второй закон термодинамики должен нарушиться.

Простейшая разновидность обратного клапана, который можно использовать для этого, представляет собой распашную дверцу, открывающуюся только в одном направлении. Эта дверца пропускает молекулы воздуха из левой половины, которые врезаются в нее, вынуждая открыться, однако она имеет пружинный механизм, очень быстро закрывающий ее после этого. Молекулы, ударяющиеся в дверь с правой стороны, только будут прижимать ее еще сильнее. К сожалению, такое устройство не сможет даже начать работать, потому что при малейшем дисбалансе давления между двумя отсеками давления молекул, ударяющихся в дверь с левой стороны, станет недостаточно, чтобы преодолеть более высокое давление с правой стороны, удерживающее дверь закрытой.

Возможно, сейчас вы думаете, что это устройство перестанет работать, только когда установится разница в давлении, достаточная, чтобы более высокое давление в правой половине (той, где молекулы воздуха давят на дверь, не давая ей открыться) начало препятствовать проникновению туда быстрых молекул из левой половины. Несомненно, этот процесс может хотя бы начаться, установится небольшая разница

в давлении, как только несколько быстрых молекул проникнут из левой половины в правую. Однако это нарушит второй закон термодинамики. Даже при такой крохотной разнице давления воздух, устремившийся из правой половины, сможет привести турбину в движение и сгенерировать немного электричества. Поскольку процесс можно повторять снова и снова, получая в результате все больше и больше электрической энергии, мы сталкиваемся с еще более серьезной проблемой. Нам нужно разобраться, почему разница в давлении в принципе не может образоваться, иначе у второго закона термодинамики будут большие неприятности.

До сих пор мы предполагали, что отдельные молекулы воздуха смогут открыть дверь, образованную триллионами молекул (из чего бы она ни состояла), толкнув ее. На самом деле, уж если мы спускаемся на молекулярный уровень, то дверь тоже должна рассматриваться в таком масштабе. А на этом уровне мы увидим молекулы двери, которые точно так же хаотично вибрируют и колеблются. Даже одна быстрая молекула, летящая с левой стороны, при ударе передаст молекулам двери часть своей энергии, усиливая их колебания и заставляя тем самым дверь открыться и закрыться случайным образом (и пропустить молекулу воздуха в «неправильном» направлении). Разумеется, обмен не будет происходить в точности один к одному, однако дверь, которую атакует множество молекул с обеих сторон, на молекулярном уровне будет постоянно вибрировать и не сможет выполнять функцию обратного клапана.

Тот же аргумент применим к возможности установления разницы температур. Тепло, по сути, есть не что иное, как колебание молекул, передающееся при их соударении, и это равным образом касается как молекул двери, так и молекул воздуха. Следовательно, всякий раз, когда быст-

рая молекула из левой половины ударяет в дверь и открывает ее, она передает немного энергии молекулам двери, усиливая их колебания. Эта энергия (или тепло) затем просто передается обратно остальным молекулам воздуха в левой части. Следовательно, часть энергии быстрых молекул возвращается обратно в ту же половину сосуда. Любая избыточная энергия, которая переносится молекулами в правую половину, теряется в процессе постоянной бомбардировки двери молекулами с правой стороны и в итоге возвращается обратно в левую половину. Таким образом, слева останется столько же быстрых молекул, сколько и справа.

Но демон куда умнее...

Разрешите представить вам венгерского ученого и изобретателя Лео Силарда. В период напряженной работы между 1928 и 1932 годом, когда ему было чуть за 30, Силард изобрел несколько важнейших в истории науки приборов, до сих пор используемых учеными: линейный ускоритель частиц (в 1928 году), электронный микроскоп (в 1931 году) и циклотрон (в 1932 году). Звучит невероятно, но во всех трех случаях он не озаботился тем, чтобы опубликовать свои работы, запатентовать устройства или хотя бы сконструировать их прототипы. Все три прибора были впоследствии разработаны другими учеными, опиравшимися на работы Силарда. Более того, два прибора принесли другим физикам Нобелевские премии (американцу Эрнесту Лоуренсу за создание циклотрона и немцу Эрнсту Руске за первый электронный микроскоп).

Именно в период творческого расцвета в 1929 году Силард опубликовал ключевую работу, вызвавшую волнение в научных

кругах. Она называлась «Снижение энтропии термодинамической системы путем вмешательства разумного существа». В ней он предложил разновидность демона Максвелла, ставшую с тех пор известной как «машина Силарда». В его версии суть парадокса заключается не просто в физическом процессе. Силард утверждал, что именно разумность демона и его осведомленность о состоянии молекул играют решающую роль, чего и опасался Максвелл. Парадокс нельзя разрешить с помощью механического устройства, каким бы мудреным оно ни было.

Давайте вернемся к нашему парадоксу. Не стоит ожидать, что в результате случайных столкновений молекул воздуха спонтанно и без помощи извне возникнет разница температур или давления между двумя камерами, это не сработает, как бы хитроумно ни действовал обратный клапан — без помощи со стороны не обойтись. Но что достойно внимания, так это то, что эта помощь может прийти в виде простой информации.

Похоже, мы вернулись к тому, с чего начали: пытаемся приспособить абстрактную идею информации (возможно, даже необходимость присутствия разумного существа) к чисто статистическому миру физических законов. Неужели в конечном счете нам придется допустить, что второй закон термодинамики соблюдается только в безжизненной Вселенной? Что в жизни есть нечто магическое, неподвластное законам физики? Напротив, решение Силарда стало блестящим подтверждением универсальности второго закона термодинамики и идеи о возрастающей энтропии.

Представьте, что в сосуде находится всего 100 молекул воздуха (по 50 в каждом отделении), при этом они распределены случайным образом так, что количество быстрых и медленных молекул с каждой стороны одинаково, благодаря чему

средняя температура в обоих отсеках одинакова (разумеется, на самом деле количество молекул должно исчисляться триллионами, но давайте упростим задачу). Демон, внимательно контролирующий процесс открытия дверцы, меняет местами 25 более быстрых молекул с одной стороны на 25 более медленных с другой. Для этого ему понадобится открыть дверцу 50 раз. Можно предположить, что энергия, растроченная им на открытие и закрытие дверцы, каким бы малым ни было ее количество, — это и есть цена, которую демон платит за снижение энтропии. Такая энергия, взятая извне, аналогична заводу механической игрушки, то есть снижению энтропии какой-либо системы путем выполнения работы, которая потребовала предварительного увеличения энтропии другой системы. Но если демон не располагает сведениями о состоянии молекул (под этим я имею в виду, что он не различает быстрые и медленные молекулы) и просто откроет перегородку случайным образом 50 раз, позволив половине молекул из левого отделения перейти в правое и наоборот, то средняя температура в обоих отсеках останется одинаковой, поскольку в обе стороны переместится одинаковое количество быстрых и медленных молекул. Следовательно, не имея этой информации или имея, но не используя ее, демон не снизит энтропию системы. При этом он потратит то же самое количество энергии на 50 открытий и закрытий дверцы. Очевидно, что усилие, которое требуется для управления движением дверцы, не имеет отношения к процессу сортировки молекул.

Догадка Силарда заключалась в том, что он обнаружил роль, которую в этом эксперименте играет информация. Он утверждал, что демон должен тратить энергию не на управление дверцей, а на определение скорости молекул. Так, получение информации всегда сопровождается затратами

энергии, которая уходит на упорядочение новых данных в мозге демона. По существу, информация — это не более чем упорядоченное состояние сигналов в головном мозге или памяти компьютера, то есть состояние низкой энтропии. Чем больше информации хранится в нашем мозге, тем лучше он организован и структурирован и тем меньше его энтропия.

Это состояние низкой энтропии при хранении информации позволяет нам выполнять полезную работу. То есть информация немного напоминает батарею, хранящую потенциальную энергию, которую можно использовать для снижения уровня энтропии в каком-то другом месте.

Разумеется, демон Максвелла никак не может быть стопроцентно эффективным. Он будет использовать энергию на получение информации о местоположении и состоянии (температуре) всех молекул. Кроме того, он может потратить дополнительную энергию на использование этой информации для разделения молекул. Таким образом, энергия, изначально потраченная на получение информации, повышает энтропию окружающей среды. Дополнительная энергия, использованная демоном, повысит энтропию окружающей среды еще сильнее.

Итак, мы можем считать компьютер (или головной мозг) машиной, которая получает полезную энергию низкой энтропии, а именно электричество (или пищу), и преобразует ее в информацию, в отличие от бесполезной энергии высокой энтропии, такой как тепло или шум мотора. Эта информация может быть использована (или передана) физической системой для снижения собственной энтропии (например, путем упорядочения этой системы), взамен позволяя ей выполнить полезную работу. Поскольку ни один этап этого процесса не будет на 100 % эффективен, в ходе него всегда будет

теряться некоторое количество тепла. Подъем энтропии, связанный с потерей рассеянного тепла, суммируется с тем, который связан с получением демоном энергии, требуемой ему в первую очередь для получения информации. Вместе эти два фактора более чем уравнивают снижение энтропии, образовавшееся вследствие обработки информации. Второй закон спасен.

Что вообще означает слово «случайно»?

Давайте чуть внимательнее посмотрим на второй закон термодинамики и проблему порядка/беспорядка, ведь нам еще предстоит разобраться с самой сутью понятия энтропии. В примере с перетасовкой колоды карт, похоже, очевидно, что энтропия упорядоченной колоды, в которой все карты разложены по мастям и в порядке возрастания, низка и что энтропия случайным образом перемешанной колоды будет выше. Но что, если колода состоит всего из двух карт? Поскольку существует только два возможных способа разложить эти карты, пытаться разделить их на два варианта (более и менее упорядоченный) бессмысленно. А что будет в случае трех карт, скажем двойки, тройки и четверки червей? Что ж, вы вправе сказать, что последовательность «два, три, четыре» более упорядочена, а значит, имеет меньшую энтропию, чем последовательность «четыре, два, три». Но что, если все три карты будут двойками: червей, бубен и пик? Будет ли теперь одна из последовательностей упорядоченнее остальных? Разница между этим примером и предыдущим заключается только в том, что карты отличаются друг от друга мастью, а не достоинством. Вряд ли способ, с помощью которого мы отличаем одну карту от другой, влияет на количество энтропии. Последовательность «двойка червей,

двойка бубен, двойка пик» имеет ни большую, ни меньшую энтропию, чем последовательность «двойка бубен, двойка червей, двойка пик».

Может показаться, что нашему определению энтропии как меры беспорядочности чего-то недостает, потому что определение беспорядка слишком узкое. В некоторых случаях очевидно, что мы имеем в виду, в других это не так. Позвольте мне развить эту мысль. Я продемонстрирую вам, что имею в виду, но для этого немного сжульничаю. Я возьму колоду карт и перетасую их, чтобы вы видели, что они действительно хорошо перемешаны. А теперь, скажу я, смотрите сюда. На ваш взгляд, я просто продолжу перемешивать их, как обычно. Но вдруг я заявляю, что теперь карты расположены в особенной последовательности. Звучит впечатляюще, ведь на первый взгляд я просто продолжил тасовать колоду. К вашему удивлению и плохо скрытому разочарованию, карты выглядят так же беспорядочно перемешанными, как и раньше. Это определенно не то, что вы бы назвали особенной последовательностью.

Тем не менее это она. Видите ли, готов поспорить на что угодно, что вы не сможете взять другую колоду карт и перемешать ее, чтобы получилась в точности такая же последовательность, как у меня. Вероятность того, что вам удастся это сделать, настолько же мала, как если бы я попросил вас взять перемешанную колоду и перетасовать ее так, чтобы карты вновь выстроились в упорядоченную последовательность (а вероятность этого равняется примерно 1 к 100 миллионам триллионов триллионов триллионов триллионов). В общем, не стоит пытаться. Итак, если рассмотреть ситуацию под таким углом, моя случайная последовательность карт настолько же «особенная», насколько и новая неперемешанная колода. Что же

насчет энтропии? Похоже, мы не можем утверждать, что энтропия колоды увеличилась, когда мы достигли настолько же маловероятной последовательности карт, как и та, которую мы имели вначале, какой бы хаотичной она ни выглядела.

На самом деле я пытаюсь вас надуть. Разумеется, в упорядоченной колоде есть нечто, что отличает ее от моей «особенной» последовательности случайно распределенных карт. В своей основе энтропия представляет собой скорее меру случайности, нежели меру неупорядоченности. Это может показаться игрой слов, но фактически это более строгое определение энтропии. Для измерения относительного уровня «особенности» используется научный термин «алгоритмическая случайность».

Словом «алгоритм» в информатике обозначают последовательность команд в компьютерной программе, а алгоритмическую случайность определяют как длину наиболее короткой программы, которая может заставить компьютер воспроизвести заданную последовательность карт (или чисел). Стало быть, в предыдущем примере с тремя картами, чтобы воспроизвести последовательность «двойка, тройка, четверка», потребуется команда «выстроить от меньшего к большему». В то же время для последовательности «четыре, два, три» понадобится более сложная команда. Получится что-то вроде «начать с наибольшего числа, оставшиеся распределить по возрастанию», и это не проще, чем дать дословную команду «вначале четверка, затем двойка, затем тройка». В любом случае алгоритмическая случайность последних двух команд несколько выше, чем первой, поэтому энтропия последовательности «четыре, два, три» немного выше, чем энтропия последовательности «два, три, четыре».

В случае полной колоды, состоящей из 52 карт, все становится еще понятнее. Довольно задать компьютеру команду воспроизвести последовательность упорядоченной колоды «начать с червей и расположить карты в порядке возрастания до тузов, затем сделать то же самое с бубнами, трефами и пиками». Но как вы запрограммируете компьютер на воспроизведение моей случайной последовательности перемешанных карт? Здесь нет короткого пути, и вам, возможно, придется дать исчерпывающую пошаговую команду «начать с короля треф, затем двойка бубен, затем семерка червей» и так далее. Если колода перемешана не до конца, в ней могут встречаться короткие последовательности неперемешанных карт, сохранивших изначальный порядок, что позволит укоротить программу. К примеру, если двойка, тройка, четверка, пятерка и шестерка пик лежат рядом, будет проще дать компьютеру команду «начать с двойки пик и расположить далее следующие четыре карты той же масти в порядке возрастания», чем расписывать команду для каждой карты отдельно (рис. 4.4).

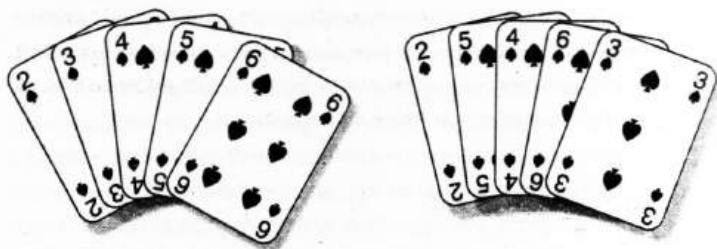


Рис. 4.4. Энтропия как мера случайности.

Последовательность карт слева имеет меньшую энтропию, чем последовательность справа, не потому, что она «особенная», а потому, что для ее описания требуется меньшее количество информации

Возможно, все эти разговоры о длине компьютерной программы ничего вам не дают, но на самом деле мы можем обойтись без такого способа определения алгоритмической случайности. Поскольку наш головной мозг, подобно мозгу демона Максвелла, представляет собой, по сути, компьютер, выполняющий команды, мы можем вместо понятия компьютерного алгоритма рассмотреть нашу способность к запоминанию. Если бы я ознакомил вас с последовательностью карт в перемешанной случайным образом колоде, а затем попросил распределить их по мастям в порядке возрастания, вы бы легко справились, поскольку это простая и конкретная инструкция (заметьте, что я позволяю вам посмотреть на карты и отсортировать их в правильном порядке, вместо того чтобы полагаться на случай, перемешивая их как попало). Но если бы я попросил вас расположить карты в колоде в том же порядке, что и карты в моей «особенной» последовательности, которую я получил путем случайного перемешивания, возможно, вам показалось бы практически невозможным запомнить порядок карт перед тем, как попробовать воспроизвести его в своей колоде. Вам необходимо намного больше информации, чтобы воспроизвести последовательность, чем в предыдущем случае. А чем больше информации о системе у вас имеется, тем больше будет ваша возможность упорядочить ее путем снижения энтропии.

Вечные двигатели

Уже довольно давно многие предприимчивые люди пытаются изобрести вечный двигатель, способный функционировать и производить полезную работу бесконечно (или, если сказать проще, производящий больше энергии, чем он потребляет даже на то, чтобы просто продолжать работать). Это невозможно.

Для начала я должен прояснить, что следует всегда быть очень осторожным, говоря, что в науке что-то невозможно. В конце концов, статистическая природа второго закона термодинамики учит нас, что формирование кубика льда в стакане теплой воды не до конца невозможно. Однако вероятность этого события настолько низка, что вам придется прождать больше времени, чем существует Вселенная, чтобы это произошло (поэтому такое событие можно исключить). Обычно, когда мы говорим, что что-то невозможно, мы имеем в виду «невозможно согласно нашему текущему пониманию законов природы и физических теорий, принятых в настоящее время». Разумеется, мы можем ошибаться, и именно проблеск этой надежды заставляет некоторых изобретателей продолжать пытаться сконструировать все более изощренные модели вечных двигателей.

Эти устройства можно разделить на две основные категории. Вечные двигатели первого рода — это устройства, которые нарушают первый закон термодинамики, поскольку производят работу без затрат энергии. Первый закон термодинамики — это закон сохранения энергии, который говорит о том, что в закрытой системе нельзя создать новую энергию. Любое устройство, которое претендует на то, чтобы создавать энергию из ничего, относится к этой категории.

Вечный двигатель второго рода не нарушает первый закон термодинамики, однако нарушает второй закон, превращая тепловую энергию в механическую работу таким образом, что энтропия системы при этом снижается. Тонкость заключается в том, что это должно произойти без всякой возможности того, что энтропия повысится где-то в другом месте, уравновешивая тем самым ситуацию. Как я уже упоминал, одна из формулировок второго закона гласит, что тепло перемещается из более горячих мест в более холодные. При этом энтропия

повышается, однако из этого процесса можно извлечь полезную механическую работу и применить ее для снижения энтропии в другом месте, но только с условием, что снижение энтропии не превысит ее подъем, вызванный передачей тепла. Устройство, которое может извлекать энергию из объекта без сопутствующей теплопередачи от более теплого объекта к более холодному, подобно сосуду с демоном Максвелла, — это попытка создать вечный двигатель такого рода.

Разумеется, существует множество устройств, которые подчиняются обоим законам термодинамики, добывая энергию из малозаметных и трудноуловимых источников: давления воздуха, атмосферной влажности или океанских течений. Они не относятся к вечным двигателям, поскольку не нарушают законы физики. Вам просто нужно вычислить, какой источник энергии позволяет им работать (рис. 4.5).

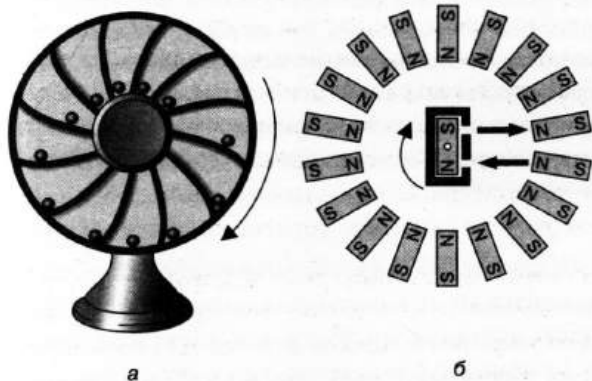


Рис. 4.5. Две простые модели вечного двигателя

Колесо с перевесом (а). Идея такого вечного двигателя восходит к индийским мыслителям VIII века. Они предлагали множество искусных моделей, основанных, однако, на одном и том же принципе, и все

потерпели поражение по одной и той же причине. В модели, изображенной на этом рисунке, шарики с правой стороны (между «15 минутами» и «30 минутами» циферблата) катятся кнаружи. Благодаря тому что они находятся дальше от центра, имеют больший крутящий момент (вращающую силу), чем если бы находились ближе к центру. Из-за этого можно предположить, что они пересылят шарики с левой стороны, вынуждая тем самым колесо бесконечно вращаться по часовой стрелке, после того как его слегка подтолкнут. На практике слева всегда окажется больше шариков, препятствующих вращению, чем шариков с большим крутящим моментом справа, поддерживающих вращение, и колесо неминуемо будет замедляться, пока не остановится совсем.

Магнитный мотор (б). Идея заключается в том, что внутренний магнит отгорожен от внешних магнитов, выложенных кольцом вокруг, оболочкой, в которой имеются два отверстия (из них северный и южный магнитные полюса ощущают воздействие полей внешних магнитов). Южный полюс, расположенный сверху, притягивается северным полюсом внутреннего кольца, расположенного под ним, а северный полюс, соответственно, отталкивается. Это вызывает вращение магнита по часовой стрелке ... бесконечное вращение. Ошибка здесь заключается в недопонимании того, как действуют магнитные поля. На самом деле внутри круга не образуется вообще никакого магнитного поля, его нивелирует симметрия, и на внутренний магнит не подействует никакая вращающая сила.

Некоторые устройства, сконструированные на основе вращающихся колес или колеблющихся маятников, на первый взгляд выглядят так, будто они могут продолжать движение бесконечно без всякого источника энергии. Но это не так. Это просто очень эффективные устройства, не расходующие попусту изначальную энергию, запустившую их движение, без которой оно, разумеется, было бы невозможно. На деле все они в конечном итоге замедляются, поскольку ни один механизм не может быть на 100 % эф-

фективным, и затухание все равно произойдет вследствие трения воздуха или подвижных частей, как бы хорошо они ни были смазаны.

Следовательно, вечный двигатель в принципе возможен только при условии отсутствия потерь энергии во внешнюю среду. Разумеется, любая попытка извлечь энергию из такого устройства приведет к его остановке.

Демон Максвелла и квантовая механика

После выхода работы Силарда споры вокруг демона Максвелла не прекратились. В наши дни физики продолжают гнаться за демоном, и в этой погоне они добрались до квантового мира и тех странных законов, которые действуют в масштабе атомов. В квантовой механике стоит нам только заговорить о самой идее определения местоположения и скорости отдельных молекул, как мы столкнемся с фундаментальной проблемой, связанной с количеством информации, которую мы можем получить. Это называется принципом неопределенности Гейзенберга, который гласит, что мы не можем *одновременно* точно установить, где находится частица (или молекула воздуха) и как быстро она движется, всегда остается некоторая нечеткость. Многие считают, что в конечном итоге именно эта нечеткость сохраняет второй закон термодинамики.

Может показаться, что квантовый мир стал последним оплотом надежды для тех, кто все еще не может расстаться с мечтой о вечном двигателе. Уже в течение нескольких лет делаются предположения о том, что это потенциально возможно, если использовать так называемую энергию вакуума или энергию нулевых колебаний. Из-за неопределенности квантового мира ни один его объект не может считаться

по-настоящему покоящимся, и каждая молекула, атом или субатомная частица всегда будут иметь минимальную энергию, даже если остынут до абсолютного нуля (это и называется энергией нулевых колебаний). Это относится даже к энергии вакуума в пустом космическом пространстве: согласно квантовой физике, Вселенная наполнена энергией вакуума, и многие думают, что данную энергию можно каким-то образом добыть и использовать. Однако такой подход сталкивается с теми же трудностями, которые мы встретили, когда говорили об отделениях, заполненных молекулами воздуха. Энергия вакуума распределена равномерно, и любой способ ее добычи потребует траты большего количества энергии, чем мы сможем таким образом извлечь. Равномерно распределенную энергию вакуума нельзя собрать просто так, так же как и разницу температур между двумя отделениями сосуда нельзя создать без сторонней помощи.

Эта помощь может выражаться в виде информации, подобно той, которая содержится в голове демона Максвелла, однако нам все еще нужна энергия, чтобы вначале добыть эту информацию. И за эту энергию придется заплатить увеличением энтропии в каком-то другом месте.

Нам ни за что не одолеть второй закон термодинамики. Не забывайте об этом никогда.

Да, чуть не забыл: в начале этой главы я упомянул, что существует *четыре* закона термодинамики, но не рассказал вам еще о двух. Ничего сверхъестественного вы не услышите: третий закон термодинамики гласит, что энтропия идеального кристалла снижается до нуля, когда температура кристалла достигает абсолютного нуля. Что касается четвертого закона, единственный интересный факт заключается

в том, что, хотя его добавили к первым трем намного позже, он считается более фундаментальным и поэтому известен не как четвертый закон, а как нулевой закон, поскольку должен идти перед тремя первыми. Он гласит, что если два тела находятся в термодинамическом равновесии (то есть имеют одинаковую температуру) с третьим телом, то они будут находиться в термодинамическом равновесии и между собой. Не особенно впечатляет. Этому закону присвоили номер ноль просто потому, что другие более важные законы слишком сильно устоялись, чтобы можно было сдвинуть их нумерацию. Это привело бы к множеству недоразумений, а мы этого не хотим, не так ли?

Глава 5

Парадокс шеста и сарая

*Чему равна длина шеста? Зависит от того,
как быстро он движется...*

С большой вероятностью вы никогда раньше не слышали об этом парадоксе, если только не учились на физическом факультете. Это один из известных примеров, встречающихся в учебниках физики (в разделах, которые посвящены теории относительности Эйнштейна) и подчеркивающих некоторые особенности расчетов, касающихся природы пространства и времени. Данный парадокс настолько прекрасен, что было бы нечестно умолчать о нем, к тому же мне доставит удовольствие поделиться им с вами. Но должен предупредить: этот парадокс не из тех, которые можно, во-первых, сформулировать, не имея знаний в соответствующей области физики, а во-вторых, объяснить, не прибегая к теории (в этом случае теории относительности). При знакомстве с этим парадоксом (чтобы я хотя бы смог сформулировать его для вас должным образом, не говоря уже

о его решении) вам придется вначале вникнуть в суть некоторых физических процессов.

Тем не менее я пообещал вам на первых страницах этой книги, что буду начинать каждую главу с краткого изложения сути описанного в ней парадокса, чтобы вы получили представление о том, с чем предстоит столкнуться. Пожалуйста, оставьте свой скептицизм при себе: он сослужит вам хорошую службу, когда мы погрузимся с головой в мир эйнштейновской физики.

Прыгун с шестом бежит, удерживая шест параллельно земле, на очень высокой скорости (чтобы это сработало, нам придется предположить, что она близка к скорости света!). Он приближается к сараю, длина которого равна длине шеста. Ему известно об этом, потому что перед забегом он сравнил длину шеста с длиной сарая. Передняя и задняя двери сарая открыты настежь, и он пробегает сквозь него, не замедляя ход. Ничего не зная о теории относительности, мы предположим, что в определенный момент времени задняя часть шеста только-только войдет в сарай, а передняя в тот же самый момент выйдет из него.

Все так бы и было, если бы спортсмен бежал на нормальной человеческой скорости. Но нет, он бежит на околосветовой скорости, а именно при таких скоростях начинают проявляться всевозможные странные и удивительные физические эффекты, предсказанные теорией относительности Эйнштейна. Один из них, имеющий центральное значение для этого случая, заключается в том, что объект, движущийся с большой скоростью, становится короче, чем он был в состоянии покоя. Разумеется, можете подумать вы, в это можно поверить: в конце концов, он промелькнет так быстро, что к тому моменту, как мы засечем, где находится его передняя часть, задняя уже

сместится вперед, создавая впечатление более короткого объекта. Нет, нет и нет. Если бы все было так просто!

Если выстрелить ракетой (с измеренной заранее длиной, в точности равной 1 м) на скорости, близкой к скорости света, чтобы она летела вдоль зафиксированной измерительной ленты, а затем сделать ее мгновенный снимок в полете, вы увидите, что ее длина теперь меньше метра. До какой степени — зависит от ее скорости (чем ближе ее скорость к скорости света, тем сильнее ее сожмет по длине). Я перейду к более подробному объяснению позже, а пока давайте вернемся к шесту и сараю.

Сформулируем нашу ситуацию иначе: теория относительности говорит нам, что, находясь в сарае и наблюдая за спортсменом, пробегающим сквозь него с шестом в руке, вы увидите, что длина шеста будет меньше длины сарая. Задняя часть шеста скроется в сарае, но передняя покажется с другой стороны несколько позже, и в течение короткого промежутка времени шест будет целиком находиться внутри сарая.

Но несмотря на всю причудливость, это все еще не парадокс. Теория относительности преподаст нам еще один важный урок. На самом деле именно благодаря ему она получила свое название: *любое движение относительно*. Эта идея появилась за много лет до Эйнштейна, и в ней нет ничего по-настоящему странного. Представьте, что вы едете в поезде, а другой пассажир проходит мимо вас в попутном направлении. Поскольку вы оба движетесь вместе с поездом, пассажир движется относительно вас на той же скорости, на которой двигался бы, если бы поезд стоял. Но в этот самый момент поезд проезжает мимо станции, и человек на перроне также видит пассажира, идущего внутри вагона. Для него

этот пассажир движется быстрее — со скоростью, равной сумме его собственной скорости и куда более высокой скорости поезда. Внимание, вопрос: с какой скоростью движется пассажир? Со скоростью пешехода относительно вас или с той же скоростью плюс скорость поезда относительно наблюдателя на перроне?

Мы чувствуем себя вполне комфортно, заявляя, что ответ зависит от наблюдателя. Скорость не абсолютна, она зависит от того, с какой скоростью движется человек, измеряющий ее. Аналогично вы можете сказать, что в то время, когда вы находитесь в поезде, сам поезд может считаться неподвижным, а платформа, напротив, движущейся в обратном направлении. Может показаться, что так мы зайдем слишком далеко, потому что более правильно будет сказать, что *на самом деле* это поезд движется, а не перрон. Но подумайте вот о чем: что если поезд будет ехать с востока на запад со скоростью 1600 км/ч (конечно, я утрирую)? Представьте, что вы парите в космическом пространстве. Что вы увидите? Вы увидите Землю, вращающуюся на скорости порядка 1600 км/ч в направлении, обратном ходу поезда. Вот чего ей стоит один суточный оборот вокруг своей оси. С вашей точки зрения, поезд едет со скоростью вращения Земли под ним, следовательно, не движется (это все равно, что наблюдать, как кто-то бежит по беговой дорожке). Что вы скажете на этот раз — это поезд едет или Земля вращается? Понимаете? Любое движение относительно.

Хорошо. Будем считать, что мне уже удалось вас убедить. Так что давайте вернемся к шесту и сараю. Хотя бегун с шестом и мчится на нереалистичной скорости, он все же может считать себя и свой шест стационарной системой, а сарай — объектом, приближающимся к нему на околосветовой скорости. Теория относительности однозначно говорит нам:

с точки зрения бегуна, сарай движется, и он увидит его укороченным по длине. На самом деле он будет значительно короче, чем шест. Поэтому для него к тому моменту, как задний конец шеста пройдет через вход в сарай, передний давно уже будет снаружи, с другой стороны сарая. В определенный момент времени для него оба конца шеста будут выступать за пределы сарая с разных сторон.

В этом и заключается парадокс: с вашей точки зрения, шест короче, чем сарай, и вы, по-видимому, сможете на долю секунды закрыть обе двери (имея соответствующий механизм), полностью скрыв шест внутри. Но с точки зрения бегуна — шест длиннее сарая, слишком длинный, чтобы поместиться туда. Разумеется, вы и бегун одновременно не можете быть правы. Верный ответ заключается в том, что в действительности *вы оба правы*. Это и есть парадокс шеста и сарая, и оставшуюся часть этой главы я посвящу не только его решению, но в первую очередь объяснению, как и почему теория относительности вынуждает нас столкнуться с такой странной дилеммой.

Чтобы разрешить этот парадокс, нам придется храбро погрузиться в эйнштейновскую теорию относительности и, следуя тем путем, который он проделал более века назад, мы будем целенаправленно перепрыгивать с одной логической кочки на другую, пока не достигнем пункта назначения.

Я чувствую, что мне стоит быть с вами предельно честным. Разумеется, я не планирую использовать алгебраические уравнения или чертить сложные графики с целью обучить вас основам теории относительности; в принципе, я мог бы просто перейти к решению парадокса в надежде, что вы с готовностью поверите мне насчет того, что касается укорочения

объектов на сверхвысоких скоростях. Но ведь я мог все выдумать! Так что у вас есть выбор: можете пропустить большую часть главы — до того места, где я объясняю решение парадокса, если вы: а) уже знаете кое-что о специальной теории относительности; б) считаете, что, если Альберт Эйнштейн сказал так, этого достаточно. Или можете позволить мне бережно провести вас через всю цепочку доказательств. Если предпочтете последний вариант, в долгосрочной перспективе это пойдет вам на пользу, поскольку в следующих двух главах рассказывается о парадоксах, касающихся скорее природы времени, нежели пространства, и в их основе также лежит теория, которую я собираюсь сейчас объяснить. Обещаю, что сделаю все, что в моих силах, чтобы вы не только не мучились, но и по возможности получили удовольствие от процесса. В конце концов, специальная теория относительности — одна из самых красивых теорий в физике.

Лекция о природе света

К концу XIX века стало понятно, что свет ведет себя как волна — так же, как и звук, только распространяется намного быстрее. Чтобы последующее обсуждение имело для вас какой-то смысл, вам нужно получить представление о двух важнейших свойствах света. Во-первых, волны должны распространяться в какой-то среде, каком-то веществе, которое будет вибрировать. Рассмотрим, как движется звук: когда вы говорите с кем-то, находящимся рядом с вами, звуковые волны проходят от вашего рта до уха слушателя по воздуху. Молекулы воздуха вибрируют и распространяют звуковую энергию. Точно так же волнам на поверхности моря требуется вода, а чтобы по веревке прошла волна натяжения, когда кто-то делает рывок с одного ее конца, нужна сама

веревка. Разумеется, без среды распространения волны не будет и самой волны. Поэтому понятно, почему физики XIX века были уверены: свету (о котором уже было известно, что это электромагнитная волна) нужна какая-то среда распространения. А поскольку никому еще не удалось найти эту среду, пришлось попробовать разработать эксперимент, направленный на ее обнаружение. Эту гипотетическую среду называли светоносным эфиром, и немало усилий было потрачено на доказательство ее существования. Разумеется, она должна была обладать определенными свойствами, например заполнять всю Галактику, чтобы свет далеких звезд смог дойти до нас сквозь космический вакуум.

В 1887 году в колледже штата Огайо два американских физика — Альберт Майкельсон и Эдвард Морли — провели один из самых знаменитых экспериментов в истории науки. Они разработали метод очень точного измерения времени, которое требуется лучу света, чтобы преодолеть определенное расстояние. Но прежде, чем я расскажу, что же они обнаружили, вот еще одно свойство волн, о котором следует упомянуть: *скорость движения волны не зависит от скорости движения ее источника.*

Вспомните шум приближающегося автомобиля. Звуковые волны достигнут вас раньше, чем сам автомобиль, поскольку они движутся быстрее, однако их скорость зависит только от того, с какой скоростью колеблются молекулы воздуха, который их переносит. Она ничуть не увеличивается за счет «толчка» со стороны движущегося автомобиля. Вместо этого происходит следующее: по мере того как машина приближается к вам, волны между вами «сплющиваются» — их длина уменьшается, а частота увеличивается. Это явление называется эффектом Доплера, и мы сталкиваемся с ним, когда слышим изменение высоты

звука сирены приближающейся, а затем удаляющейся от нас кареты скорой помощи или громких моторов гоночных автомобилей, проезжающих по трассе. Итак, частота звуковой волны зависит от скорости источника и от того, приближается он к нам или удаляется, а скорость распространения самой волны и время, которое ей требуется, чтобы достичь нас, остаются неизменными.

Однако очень важно заметить, что с точки зрения водителя автомобиля ситуация выглядит совершенно по-другому. Звук мотора будет разноситься воздухом от автомобиля с одной и той же скоростью во всех направлениях. Следовательно, в направлении движения автомобиля звуковые волны будут двигаться медленнее, чем под прямым углом от него. Причина в том, что скорость, с которой звуковые волны движутся впереди автомобиля, равна разности скорости звуковой волны в воздухе и скорости автомобиля.

Майкельсон и Морли применили этот принцип к волнам света. Они разработали хитроумный эксперимент, в ходе которого, как они были уверены, впервые удастся обнаружить светоносный эфир (и подтвердить его существование). Они начали с того, что предположили, будто Земля движется сквозь эфир, вращаясь вокруг Солнца на скорости порядка 100 000 км/ч. В ходе эксперимента они определили с огромной точностью время, которое потребовалось двум лучам света, чтобы пройти два различных участка пути одинаковой длины: один в направлении движения Земли вокруг Солнца, а другой — под прямым углом к нему. Сидя в своей лаборатории на Земле и измеряя скорость света, они были похожи на водителя автомобиля, который обнаруживает, что звуковые волны, покидающие машину, имеют разную скорость в зависимости от того, измеряет он ее впереди автомобиля или сбоку.

Если эфир существует, рассуждали Майкельсон и Морли, то Земля должна двигаться в нем свободно, следовательно, свету, идущему в разных направлениях, понадобится разное количество времени, чтобы преодолеть одно и то же расстояние, поскольку он будет двигаться на разных скоростях относительно движения Земли в двух различных направлениях. Хотя скорость света равна 300 000 км/с, что в 10 000 раз больше, чем скорость вращения Земли вокруг Солнца, их измерительный прибор, называемый интерферометром, был настолько точен, что с его помощью можно было обнаружить малейшее различие во времени, за которое два луча света преодолеют дистанцию, по тому, как они интерферируют друг с другом, объединившись в конце пути.

Никакого различия обнаружено не было. Эксперимент закончился тем, что в науке называется нулевым результатом (с тех пор он подтверждался неоднократно в ходе куда более точных экспериментов с использованием лазерных лучей). Физики со всего мира не могли понять такой исход, на самом деле они считали, что Майкельсон и Морли допустили ошибку. Как могли оба этих луча двигаться с одной и той же скоростью? Что случилось с принципом «любое движение относительно»?

Я знаю, все это немного сбивает с толку, так что позвольте мне изложить суть как можно четче. Помните пример с пассажиром, идущим по вагону поезда? Результат эксперимента Майкельсона — Морли был равносильен тому, как если бы и для вас, и для человека на перроне скорость пассажира, идущего по вагону, была бы одинаковой! Звучит нелепо, не правда ли? Разумеется, как я уже объяснял ранее, относительно вас пассажир перемещается со скоростью пешехода, в то время как для наблюдателя с платформы он

проносится мимо со скоростью движущегося поезда плюс еще чуть-чуть.

Всего за восемь лет до волнующего открытия Майкельсона и Морли в немецком городе Ульм родился Альберт Эйнштейн. В том же 1879 году Альберт Майкельсон, работавший в Военно-морской обсерватории США в Вашингтоне, измерил скорость света примерно с точностью до одной десятичной. Он был не первым, кто это сделал, и не последним, но это помогло, когда они с Морли провели свой знаменитый эксперимент. Что касается молодого Эйнштейна (хотя он, разумеется, абсолютно ничего не знал о поразительном результате, который Майкельсон и Морли представили миру), он сам вскоре начал размышлять о необычных свойствах света, разрабатывая мысленные эксперименты. Он задал себе вопрос: если бы ему пришлось лететь на скорости света, держа в руках перед собой зеркало, смог бы он увидеть собственное отражение (рис. 5.1)? Как отраженный от его лица свет успеет достичь зеркала, если само зеркало все время удаляется от него на скорости света? Через несколько лет размышлений, в 1905 году, еще не достигнув возраста 30 лет, он опубликовал свою специальную теорию относительности. Внезапно результат, полученный Майкельсоном и Морли, стал полностью объясним.



Рис. 5.1. Раннее исследование Эйнштейна.

Сможет ли Эйнштейн, летящий со скоростью света, увидеть свое отражение в зеркале?

До того как Эйнштейн опубликовал свою работу, физики либо отказывались верить результатам эксперимента Майкельсона и Морли, либо старались как-то приспособить законы физики под них, но безуспешно. Они пытались апеллировать к тому, что свет ведет себя как поток частиц (это тоже объяснило бы полученный результат), но эксперимент был разработан специально для определения волновой природы света, он опирался на то, как волны двух лучей света накладываются друг на друга, благодаря чему было измерено точное время прибытия этих волн. В любом случае если свет состоит из частиц, то это также означает конец гипотезы эфира, поскольку частицам не нужна среда распространения, чтобы перемещаться.

Все изменилось в 1905 году. Теория Эйнштейна основывалась на двух идеях, получивших известность как два постулата теории относительности. Первый из них звучит не ново. Он гласит, что любое движение относительно и ничто не является по-настоящему неподвижным. Это означает, что не существует такого эксперимента, который показал бы, стоим мы на месте или движемся. Второй постулат звучит революционно, хотя на первый взгляд тривиально. Эйнштейн заявил, что свет действительно имеет волноподобное свойство, заключающееся в том, что его скорость не зависит от скорости источника (так же как и в случае со звуковыми волнами, идущими от движущегося автомобиля). Но в то же самое время (в отличие от звуковых волн) свету не требуется среда для распространения, светоносный эфир не существует и световые волны могут свободно перемещаться по-настоящему в пустом пространстве.

Пока все не так плохо. Здесь нет никакого парадокса, и вы можете подумать, что в этих невинных постулатах нет ничего такого, под чем вы не решились бы подписаться. Они

определенно не звучат как утверждения, порождающие революционный взгляд на пространство и время. Однако это так. По отдельности каждый из этих постулатов невинен. Но стоит нам рассмотреть их в комбинации, как мы понимаем, насколько глубоки идеи Эйнштейна.

Давайте подытожим. Свет, идущий к нам из какого-то источника, будет двигаться с одной и той же скоростью независимо от того, как быстро перемещается сам источник. Все как в случае со всеми остальными волнами, так что здесь проблемы нет. Однако, поскольку нет среды распространения, относительно которой мы можем измерить скорость света, значит, никто во Вселенной не находится в каком-то особенном положении и с любой точки зрения свет будет иметь одну и ту же скорость (1 миллиард километров в час) независимо от того, движемся мы или стоим на месте. Вот здесь начинаются странности, поэтому теперь я объясню, что из этого вытекает.

Представьте себе две ракеты, летящие в космосе на высокой скорости навстречу друг другу. Если двигатели обеих ракет выключены и они просто летят в крейсерском режиме с постоянной скоростью, то ни один член экипажа на борту обеих ракет не сможет определить, движутся ли они обе по направлению друг к другу, или одна ракета покоится, в то время как другая приближается к ней. На самом деле не существует таких понятий, как состояние движения и покоя, поскольку мы всегда говорим о движении относительно чего-то другого. Поэтому использовать в качестве точки отсчета ближайшие планеты и звезды также не стоит, ведь как мы можем быть уверены, что и эти объекты неподвижны?

Теперь пусть космонавт на борту одной ракеты выпустит луч света в направлении другой ракеты и измерит скорость его движения. Поскольку он вполне обоснованно может

считать себя неподвижным, а все движение приписывать второй ракете, он должен увидеть, что свет удаляется от него с обычной скоростью 1 миллиард километров в час. В то же время космонавт на борту второй ракеты может считать себя и свою ракету неподвижными. Он также измеряет скорость света, идущего к нему, получая значение 1 миллиард километров в час, и заявляет, что это совершенно неудивительно, поскольку скорость светового луча не зависит от того, с какой скоростью приближается его источник. Именно это мы и обнаружили. Парадоксальным образом оба они получают в результате измерений одинаковую скорость света.

Это поразительно и немного противоречит здравому смыслу. Оба космонавта измеряют скорость одного и того же луча света и получают одно и то же значение, несмотря на то что сами движутся навстречу друг другу со скоростью, близкой к скорости света!

Теперь мы можем наконец ответить на вопрос Эйнштейна, касающийся зеркала. Вне зависимости от того, как быстро он летит, он всегда сможет увидеть свое отражение. Причина заключается в том, что как бы быстро Эйнштейн ни летел, свет от его лица к зеркалу и обратно будет перемещаться с одной и той же скоростью, как если бы он вообще находился в покое. В конце концов, кто скажет, что он летит слишком быстро? Любое движение относительно, не забыли?

Но за все это нужно заплатить определенную цену, а именно: нам придется пересмотреть свои взгляды на природу пространства и времени. Единственная причина, по которой свет может путешествовать с одной и той же скоростью для всех наблюдателей независимо от их скорости относительно друг друга, заключается в том, что они измеряют пространство и время по-разному.

Сокращающиеся расстояния

Прежде чем вы начнете жаловаться, что это просто очередная спекулятивная теория, которая может оказаться ошибочной, я должен подчеркнуть, что ее исследовали и экспериментально проверяли на протяжении 100 лет — и мы регулярно наблюдаем ее проявления на практике. Я даже могу поручиться за нее лично, поскольку, как и многие другие студенты-физики, в университете проводил лабораторный эксперимент, включающий разновидность субатомных частиц под названием мюоны. Они представляют собой высокоэнергетические космические частицы, постоянно атакующие верхние слои атмосферы. Мюоны образуются в процессе столкновения космических лучей с молекулами воздуха и потоками несутся вниз к Земле. Лабораторный эксперимент, который я проводил, включал улавливание и подсчет этих частиц с помощью специального детектора. Нам известно, что мюоны существуют лишь малую долю секунды, прежде чем исчезнуть (это мы определили экспериментально). Обычно время их жизни составляет порядка двух микросекунд, хотя некоторые из них могут существовать чуть дольше или меньше.

Мюоны имеют настолько высокую энергию, что летят к Земле на скорости свыше 99 % скорости света. Однако даже на этой скорости требуется несколько мюонных жизней (срок такой жизни мы можем вычислить, исходя из скорости мюонов и приблизительного расстояния, которое они пролетают), чтобы преодолеть расстояние до поверхности Земли. Следовательно, мы должны видеть только те немногочисленные долгоживущие мюоны, способные завершить это путешествие. Вместо этого мы обнаруживаем, что практически всем мюонам удается благополучно достичь области, где их

может засечь наш детектор, прежде чем они исчезнут. Возможная причина могла бы заключаться в том, что по какой-то причине быстрые мюоны живут дольше неподвижных. Однако Эйнштейн сказал бы, что это не объяснение, поскольку любое движение относительно, следовательно, летящий мюон движется только по отношению к нам, находящимся на поверхности Земли.

Наконец мы подошли к развязке. Рассмотрим, как все это должно выглядеть с точки зрения мюонов. Если бы они могли говорить, то сообщили бы вам, что действительно движутся со скоростью свыше 99 % скорости света (или что Земля приближается к ним на скорости свыше 99 % скорости света) и, похоже, им хватит времени, чтобы преодолеть это расстояние. На самом деле с их точки зрения время, которое им требуется, чтобы достичь Земли, настолько мало, что вполне вписывается в их короткий жизненный срок. Это может означать только одно: для мюонов время должно идти медленнее, чем для нас на Земле. Это действительно так, но я отложу подробности, касающиеся этого замедления времени, до следующей главы. Пока же нам осталось преодолеть всего одно логическое препятствие. Представьте себе следующую ситуацию: вначале вы с мюоном сошлись в значении скорости, с которой он движется (точнее, скорости, с которой вы приближаетесь друг к другу); затем мюон сообщает вам, что его путешествие занимает меньше времени, чем вы думали. Итак, чтобы цифры сошлись, он также должен сказать, что пролетел меньшее расстояние. То есть если мюон путешествует на какой-то постоянной скорости, одинаковой и для вас, и для него, то он сможет пролететь необходимое расстояние за меньшее время, однако тогда для него это расстояние должно быть короче, чем для вас.

Это свойство путешествий на высоких скоростях известно как сокращение длины. Благодаря ему преодолеваемые

расстояния с точки зрения быстродвижущихся объектов выглядят короче, точно так же, как быстродвижущиеся объекты оказываются короче, чем те же объекты в покое.

Галактические путешествия

У этого свойства есть одно интересное следствие, достойное того, чтобы кратко рассмотреть его, прежде чем вернуться к парадоксу шеста и сарая. Во вступлении к парадоксу Ольберса из главы 3 я упомянул, что ближайшие к нам звезды расположены в нескольких световых годах от нас. Так что, даже если бы мы могли путешествовать со скоростью света, нам понадобилось бы несколько лет, чтобы достичь их. Довольно грустная мысль, поскольку она означает, что мы заперты в Солнечной системе, как в ловушке, и все, на что мы можем надеяться, — это побывать на других планетах, вращающихся вокруг Солнца. Путешествия к более далеким объектам продлились бы слишком долго. Что касается полетов к более отдаленным звездам, не говоря уже об очень далеких галактиках, что ж, похоже, об этом не может быть и речи (в конце концов, даже свету требуются тысячи миллионов лет, чтобы попасть туда).

Но что, если я скажу вам, что мы можем лететь на скорости, меньшей, чем скорость света, и все же достичь противоположного конца Вселенной в мгновение ока? Научная фантастика? Нет. Единственное, что нас останавливает, — это то, что у нас нет и, возможно, никогда не будет ракеты, способной развить околосветовую скорость. Но давайте предположим, что она у нас все же есть. Принцип будет в точности тот же, что в случае с мюоном. Как для мюона расстояние до Земли намного короче, чем для нас, так же и для путешественника на борту космического корабля, отправляющегося к далекой звезде на околосветовой скорости, расстояние будет сжато.

Представьте себе сплошной металлический прут длиной в тысячи световых лет, соединяющий Землю со звездой, к которой летит наша ракета. Пассажиры этого космического корабля могут заявить, что поскольку любое движение относительно, то это не корабль летит на околосветовой скорости, а прут движется с той же скоростью в обратном направлении. С их точки зрения, они неподвижно наблюдают, как мимо них пролетает высокоскоростной прут. Следовательно, его длина покажется им меньше; значит, ему не понадобится так уж много времени, чтобы миновать их, а им не понадобится много времени, чтобы достичь пункта назначения.

Теория относительности гласит, что чем ближе мы к скорости света, тем сильнее сокращаются длины. Для примера: расстояние в 100 световых лет для путешественника, движущегося со скоростью 0,99 скорости света, относительно начальной и конечной точки путешествия составит всего 14 световых лет. Но для путешественника, движущегося со скоростью 0,9999 скорости света, это же расстояние составит всего лишь один световой год (следовательно, путешествие продлится всего год, поскольку космический корабль летит практически с той же скоростью, что и свет). А если корабль сможет подобраться еще ближе к скорости света и разовьет, скажем, 0,999 999 999 от нее, то 100 световых лет получится пролететь менее чем за два дня.

Заметьте, что здесь мы не нарушаем никаких законов физики. Чем ближе ваша скорость к скорости света, тем меньше времени вам понадобится, чтобы достичь пункта назначения, и я надеюсь, что теперь вы понимаете, что это происходит не потому, что вы летите быстрее (в конце концов, в абсолютных значениях 0,999 999 999 световой скорости не намного больше, чем 0,999 световой скорости), а потому, что чем ближе вы подбираетесь к скорости света, тем короче для

вас будут расстояния, а чем сильнее сокращаются расстояния, тем проще их преодолеть.

Но чего нам это будет стоить? Когда вы на борту космического корабля преодолеваете сжатое расстояние, для вас путешествие занимает совсем немного времени. Если вам понадобится два дня, чтобы пролететь 100 световых лет, значит, когда вы прибудете на место, вы действительно постареете всего на два дня. Но не забывайте: ваше время шло намного медленнее, чем земное. Для людей, оставшихся на Земле, вы летите с околосветовой скоростью и преодолеваете расстояние в 100 световых лет, следовательно, путешествие продлится 100 лет (или немного больше, ведь вы движетесь немного медленнее, чем свет). Следовательно, ваши два космических дня будут соответствовать 100 земным годам. Хуже того, если по прибытии вы пошлете световой сигнал назад на Землю, ему понадобится еще 100 лет, чтобы достичь ее. А значит, первое свидетельство того, что вы добрались благополучно, достигнет Земли не ранее чем через 200 лет после того, как вы ее покинете.

Мораль заключается в том, что вы можете путешествовать по Вселенной на любые расстояния за такое короткое время, как захотите, *в пределах скорости света*. Но не думайте, что по возвращении на Землю вы застанете свою семью и друзей живыми.

Одновременно чарующим и озадачивающим финальным аккордом будет рассмотрение того, каково это для луча света — путешествовать в пространстве. На самом деле именно здесь мы должны довести следствия теории относительности до их логического конца: если бы вам пришлось проехать на луче света, любое расстояние, которое бы вы преодолели, даже равное диаметру Вселенной, сжалось бы до нуля. И это

нормально, ведь само время также остановится, а значит, вы вообще не преодолеете никакого расстояния ни за какой период времени! Вот еще одна причина, по которой невозможно достичь скорости света: это просто слишком безумно, чтобы такое можно было представить. Но, похоже, свету удастся перемещаться на своей скорости без всяких проблем, правда, ни один луч света еще не рассказал нам о том, каково это.

Мы изучим эту идею детальнее в следующей главе. Теперь же, после этой краткой интерлюдии, можем вернуться к парадоксу шеста и сарая — не только чтобы решить его, но, в первую очередь, чтобы понять, почему он вообще представляет собой парадокс.

Возвращаясь к шесту и сараю

Теперь, когда мы полностью в курсе дела, давайте заново сформулируем задачу с учетом предсказанного теорией относительности сокращения длин при движении с околосветовой скоростью. Вспомните: вы находитесь внутри сарая и наблюдаете за тем, как к вам на огромной скорости несется бегун с шестом. Вы знаете, что в состоянии покоя длина шеста равняется длине сарая. Однако теперь, в движении, шест покажется вам короче, так что он полностью может поместиться внутри сарая. Более того, в некоторую долю секунды, если бы вам удалось действовать достаточно быстро, вы бы смогли захлопнуть обе двери сарая, закрыв шест внутри.

Однако мы должны также взглянуть на ситуацию глазами бегуна с шестом. С его точки зрения, шест не движется (в том смысле, что он не движется *относительно него*), а вот сарай очень быстро приближается к бегуну. Следовательно, он видит, что по направлению к нему движется сплюснутый,

укороченный сарай. Когда он пробегает сквозь него, передний конец шеста показывается с обратной стороны сарая еще до того, как задний конец пройдет через переднюю дверь. Так что закрыть двери в один и тот же момент никак не выйдет — шест слишком длинный для этого (рис. 5.2).

Что же это: оптическая иллюзия или реальный физический эффект? Ведь, разумеется, и вы и бегун не можете оба быть правы — либо обе двери сарая можно закрыть в один и тот же момент, либо нет.

Парадокс, как я и говорил в начале этой главы, заключается в том, что на самом деле вы оба правы. Согласно теории относительности именно так все и выйдет исходя из двух ее постулатов: быстродвижущиеся объекты становятся короче и любое движение относительно.

Чтобы найти решение, нам нужно разобраться, что мы понимаем под *одновременными событиями*. Я сказал, что вы, находясь внутри сарая, можете закрыть обе двери одновременно, заперев шест внутри. Разумеется, спустя мгновение вы быстро откроете заднюю дверь, до того как шест врежется в нее. Это не имеет значения, важно то, что обе двери одновременно закроются на короткий момент времени. Но вот как развиваются события с точки зрения бегуна: когда он вбегает в сарай и до того, как передний конец шеста достигнет задней двери, она быстро закрывается. Мгновение спустя она открывается снова, пропуская шест невредимым. Спустя еще один миг *после* того, как задний конец шеста вошел в сарай, закрывается передняя дверь. Так что, да, говорит он, после того как остановится и отправится обратно, чтобы сравнить свои наблюдения с вашими, обе двери действительно закрылись, но *не одновременно* — это было бы невозможно, учитывая, насколько коротким был для бегуна сарай.

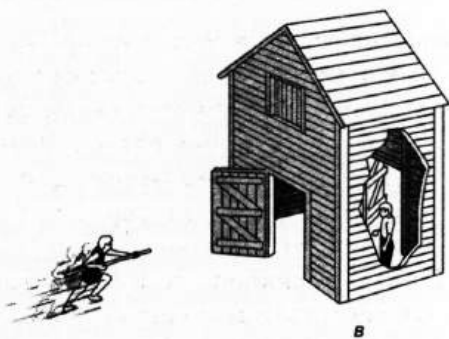
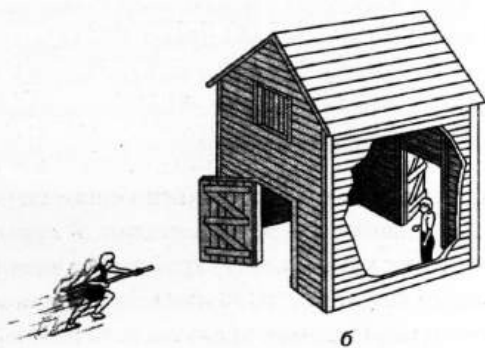
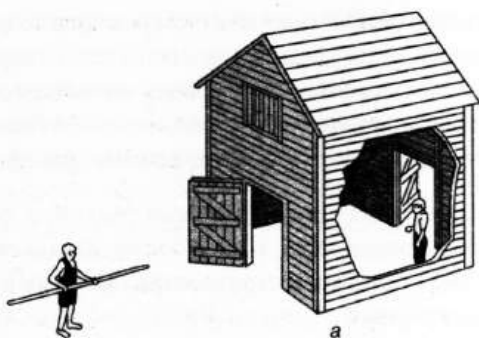


Рис. 5.2. Парадокс шеста и сарая

Пока шест не движется относительно сарая, оба они имеют одинаковую длину (a).

Для человека в сарае быстродвижущийся шест теперь выглядит короче и может поместиться внутри сарая (b).

Для бегуна сжатым выглядит сарай, а значит, весь шест целиком поместиться в него не может (v).

Этот феномен упорядочения событий, выглядящих по-разному для разных наблюдателей, движущихся друг относительно друга, — еще одно следствие из теории относительности Эйнштейна. Кроме того, как и другие странные результаты, с которыми мы встретились, это не просто теоретический прогноз. Эти вещи действительно происходят. Но, как и замедление времени и сокращение длин, данный феномен не является чем-то, с чем мы сталкиваемся в повседневной жизни. Причина проста: мы не склонны путешествовать с околосветовыми скоростями. Большинство людей ставит свой рекорд скорости перемещения на борту реактивного самолета, крейсерская скорость которого составляет менее 1000 км/ч (это миллионная доля скорости света). Подобные релятивистские эффекты очень сложно заметить, когда мы движемся так медленно.

Я ощущаю ваш скептицизм, и, честно говоря, мне жаль, что вы еще не в полной мере прониклись всеми этими релятивистскими штучками (хотя, возможно, я клеветчу на вас и вы полностью удовлетворены моими объяснениями). Тем не менее позвольте мне сыграть роль адвоката дьявола и усугубить нашу проблему. Помните, я говорил, что, когда шест и сарай не движутся относительно друг друга, их длина одинакова. Так что, в принципе, если бы не существовало такой вещи, как релятивистское сокращение длин, движущийся шест все равно поместился бы в сарай (всего лишь) на одно мгновение. Но что, если бы шест был, скажем, в два

раза длиннее сарая? Предположительно, все аргументы остаются в силе, не так ли? Следовательно, если вы стоите внутри сарая, движущийся шест покажется вам короче и, в случае если он движется достаточно быстро, он может оказаться достаточно коротким, чтобы с легкостью поместиться внутри сарая. Если вы до сих пор не поняли этого, то поймете теперь: сокращение длин — это не оптическая иллюзия. Шест не просто *кажется* короче — для вас он на самом деле станет короче и вы сможете закрыть обе двери сарая одновременно с шестом внутри. Но если это сокращение длины шеста реально, означает ли это, что атомы, из которых состоит шест, тоже сжались? Что еще важнее, бегун с шестом, судя по всему, тоже подвержен этому сжатию и во время бега он покажется вам более плоским, чем обычно. Не испытывает ли он из-за этого дискомфорт? Ответ — нет, он вообще не чувствует себя как-то необычно (ну, может быть, слегка запыхался от такого быстрого бега), и это вас он видит уплощенным внутри сплюснутого сарая, поскольку для него вы вместе с сараем движетесь по направлению к нему.

Значит, раз бегун не чувствует себя сплюснутым, а шест в его руке кажется ему все таким же длинным, как и до того, как он начал бежать, то, *разумеется*, сокращенный шест, который вы видите, — это просто иллюзия.

Давайте проверим, так ли это. Что, если в задней части сарая нет двери, а вместо этого там сплошная кирпичная стена? Не будем беспокоиться о безопасности бегуна в этом случае: если вы поверили, что он может бежать со скоростью, близкой к скорости света, вам также стоит принять, что он способен резко остановиться и не врезаться в стену.

Мы снова будем рассматривать ход развития событий относительно двух точек зрения. Для вас передняя дверь сарая

все еще может оставаться закрытой, после того как укороченный шест полностью войдет в сарай, что произойдет до того, как шест ударится о кирпичную стену.

Но в системе отсчета бегуна передний конец шеста врежется в стену до того, как его задний конец успеет хотя бы войти внутрь. Если мы предположим, что и шест, и кирпичная стена достаточно крепки, чтобы пережить это столкновение и остаться невредимыми, то как задний конец шеста вообще сможет проникнуть *внутрь* сарая, чтобы за ним можно было захлопнуть переднюю дверь? Видимо, теперь мы столкнулись с более серьезной проблемой, чем простая последовательность событий. Похоже, что событие — закрытие двери после того, как в нее войдет шест, — с точки зрения бегуна, вообще не случится. Ну вот наконец мы столкнулись с настоящим парадоксом, загоняющим в угол Эйнштейна и его теорию.

На самом деле нет. Этому парадоксу есть обоснованное и корректное объяснение. Как вы понимаете, в системе отсчета бегуна передний конец шеста действительно ударяется в стену, однако его задний конец этого вначале «не заметит», поскольку, согласно теории относительности, такой вещи, как абсолютно твердое тело, в природе существовать не может. Вспомните: я говорил, что ничто на свете не может перемещаться быстрее скорости света, следовательно, информация о том, что передний конец шеста резко остановился (ударная волна, которая должна пройти по нему вдоль), не дойдет до заднего конца достаточно быстро, чтобы тот прекратил двигаться на той же скорости, на которой двигался до этого. По сути, задний конец шеста «не знает» о том, что передний конец внезапно остановился. Он продолжает двигаться так быстро, что к тому моменту, когда информация от переднего конца шеста дойдет до него, он уже войдет в сарай — и дверь закроется.

Заметьте, нам следует быть готовыми очень быстро открыть дверь снова, поскольку шест не сможет долго находиться внутри. Как только бегун резко остановится внутри сарая, вы с ним начнете видеть длины такими, какие они есть (я имею в виду, что они не в движении; в теории относительности это называется собственной длиной). Я говорил, что в этом примере длина шеста в два раза больше длины сарая. Теперь бегун согласится с вами, что после того, как разные части шеста прекратят движение (вспомните: абсолютно твердых тел не существует), они вернутся обратно к собственной длине. Передний конец шеста не сможет продвигаться вперед, поскольку ему мешает кирпичная стена, следовательно, задний конец шеста начнет быстро расти в сторону открытой теперь передней двери сарая, пока половина шеста снова не окажется снаружи.

Есть еще одна, последняя тонкость, которую я не буду подробно расписывать, но она все же достойна внимания. Описывая эту ситуацию, я говорил, что вы с бегуном видите процессы, происходящие с шестом, по-разному и в разное время. Но даже на то, чтобы увидеть передний или задний конец шеста, требуется время: это время, которое нужно свету, чтобы дойти до ваших глаз и глаз бегуна. Поскольку сам шест движется на околосветовой скорости, это замечание становится важным. Но пока что я избавляю вас от сложных научных подробностей. Достаточно сказать, что, пока речь идет о вопросе, волновавшем нас изначально, длина шеста изменяется в зависимости от того, с какой скоростью он движется. Но вы можете утешить себя тем, что в основе парадоксов, связанных с временем, о которых мы будем говорить дальше, лежит научный фундамент, заложенный в этой главе. Так что мы сможем перейти к делу намного быстрее.

Глава 6

Парадокс близнецов

*Путешествуя очень быстро,
можно попасть в будущее*

В этой главе я продолжу тему парадоксов, вытекающих из предсказаний теории относительности Эйнштейна. Но на этот раз мы погрузимся в головокружительные идеи, связанные с природой самого времени и тем, как на него влияет движение с околосветовой скоростью.

Сюжет этого парадокса, возможно, прозвучит для вас как научная фантастика, но на самом деле он прекрасно укладывается в общепринятую научную концепцию и его преподают всем студентам-физикам в качестве примера следствий, вытекающих из постулатов теории относительности, хотя в настоящее время у нас еще нет технологий, позволяющих воплотить его в жизнь. В этой истории задействован космический корабль, способный развить околосветовую скорость. Пока что у нас нет возможности построить подобный аппарат, тем не менее принципиально это вполне возможно. А поскольку корабль не превышает скорости света, нет нужды

привлекать куда более спекулятивные идеи, распространенные в популярной научной фантастике, например двигатели деформации пространства и гиперпространственные туннели.

Встречайте наших героев — Алису и Боба, спроектировавших и построивших этот космический корабль. Боб остается на Земле, а Алиса садится в космический корабль и отправляется в кругосветное путешествие по нашей Галактике, на которое у нее уходит ровно год. По возвращении на Землю биологически она стала старше на один год, она чувствует, что прошел один год, и все часы и устройства, отсчитывающие время на борту корабля, утверждают, что с того момента, как она покинула Землю, прошел всего год.

Тем временем Боб, следивший за ее путешествием, стал свидетелем одного из тех странных эффектов, предсказанных теорией относительности Эйнштейна, которые проявляются вследствие движения на околосветовой скорости. С точки зрения Боба, время на борту космического корабля течет медленнее, чем на Земле. Если бы ему довелось следить за происходящим на космическом корабле с помощью видеокамеры, он бы увидел, что все происходит как бы в замедленном режиме: часы на борту идут медленнее, Алиса движется и говорит медленнее и так далее. Таким образом, Алисе на борту космического корабля кажется, что путешествие заняло всего один год, в то время как, с точки зрения Боба, прошло 10 земных лет. По возвращении на Землю Алиса обнаруживает, что ее брат-близнец постарел на 10 лет, в то время как она биологически стала старше всего на год.

Само по себе это явление не будет источником парадокса из заглавия. Возможно, прозвучит странно, но такой ход событий полностью укладывается в прогнозы теории Эйнштейна. Временные промежутки, которые я выбрал, произ-

вольны, они зависят только от того, с какой скоростью будет лететь космический корабль. Если Алиса, к примеру, еще немного приблизится к скорости света, то, проведя довольно простые вычисления, всякий человек, имеющий калькулятор (и немного знакомый с теорией относительности), скажет, что один год на космическом корабле может соответствовать 1 миллиону лет на Земле. Соответственно, Алиса может путешествовать, по собственным расчетам, всего один день, в то время как на Земле пройдут тысячи лет. Но давайте будем придерживаться того варианта, при котором скорость космического корабля приводит к тому, что один год на его борту соответствует 10 годам на Земле, что хотя бы позволит Алисе вернуться, пока ее брат еще жив.

Парадокс возникает из-за якобы противоречивых выводов, вытекающих из идеи относительности движения. До сих пор наша история в целом напоминала парадокс шеста и сарая из предыдущей главы, однако разбираться в природе времени всегда труднее, чем в вопросах, связанных с расстоянием. Видите ли, похоже, мы слишком поспешно выбрали систему отсчета и решили, что время замедляется только в одной системе отсчета, но не в другой. В предыдущей главе мы познакомились с первым постулатом теории относительности: любое движение относительно. Давайте посмотрим, применим ли этот принцип в нашем случае. Алиса, конечно же, имеет полное право утверждать, что это не ее космический корабль удаляется от Земли на околосветовой скорости, а Земля убегает от космического корабля в противоположном направлении. В конце концов, что такое истинное движение? Разве не может Алиса заявить, что она находилась в неподвижном состоянии в течение всего года своего путешествия и что это Земля все время двигалась — вначале от нее, а затем по направлению к ней? В подтверждение можно привести

тот факт, что она видела через свою камеру удаляющиеся земные часы, идущие медленнее, чем часы на борту корабля! Следовательно, она может заявить, что это Боб по ее возвращении должен постареть меньше, поскольку за тот год, что она летела, на Земле прошла всего одна десятая часть этого времени (всего около месяца). В этом и заключается наш парадокс.

Эта кажущаяся симметрия эффектов относительного движения годами вызывала недоумение. Более того, было опубликовано множество научных работ, в которых утверждалось, что этот парадокс опровергает теорию Эйнштейна и ее положения, согласно которым в одной системе отсчета время действительно идет медленнее, чем в другой. Боб и Алиса наверняка наблюдают нечто вроде оптической иллюзии, и на самом деле время вовсе не замедляется. На первый взгляд может показаться, что с учетом очевидной симметрии двух систем отсчета различий в ходе земного времени и времени космического корабля не должно быть и близнецы все так же будут одного возраста, когда Алиса вернется. Значит ли это, что оба близнеца ошибаются? Определенно, оба они правы быть не могут.

Верьте или нет, правильный ответ заключается в том, что прав Боб. За время полета Алиса действительно постарела меньше, чем он. Загадка заключается в том, как это соотносится с относительностью движения. Почему видимая симметричность ситуации не соответствует действительности?

Чтобы разрешить этот парадокс, мне вначале придется убедить вас, что на околосветовых скоростях время действительно замедляется точно так же, как на таких сверхвысоких скоростях изменяются длины объектов. Поэтому нелишне

хорошо поразмышлять о природе самого времени. Это еще пригодится нам в следующей главе, где мы впервые встретимся с настоящим парадоксом, касающимся путешествий во времени, и ситуация накалится до предела.

Что есть время?

Справедливо будет сказать, что ни один человек на фундаментальном уровне не понимает, что такое время. Лучшая теория времени, которой мы располагаем на сегодня, является частью общей теории относительности Эйнштейна (о ней я рассказал в главе, посвященной парадоксу Ольберса). Но даже самые мощные научные теории сдают, когда мы пытаемся зайти слишком далеко, стремясь найти ответ на глубокие метафизические вопросы: «Действительно ли время течет, или это всего лишь иллюзия?», «Существует ли абсолютная скорость течения времени или хотя бы однозначное направление этого течения?». Разумеется, такие утверждения, как «время идет от прошлого к будущему» или «время идет со скоростью одна секунда в секунду», не приносят нам особой пользы.

До того как Исаак Ньютон более трех столетий назад закончил работу над своим трактатом «Математические начала натуральной философии», в котором изложил свои законы движения, время считалось скорее областью интересов философии, нежели науки. Ньютон описал, как движутся объекты и как они ведут себя под воздействием сил; и поскольку, чтобы понятия движения и изменения имели смысл, необходимо понятие времени, оно неизбежно должно было стать неотъемлемой частью его математического описания природы. Однако ньютоновское время абсолютно и неумолимо. Оно течет с постоянной скоростью, как если

бы существовали воображаемые космические часы, отмеряющие секунды, часы, дни и годы независимо от нашего (зачастую субъективного) ощущения хода времени, и у нас не было никакой власти над скоростью его течения. Все это звучит в высшей степени разумно, однако современные физики доказали, вне всякого сомнения, что такой взгляд на время ошибочен.

В 1905 году Эйнштейн сообщил об открытии глубокой взаимосвязи пространства и времени, опубликовав свою работу по теории относительности (что вызвало настоящую революцию в физике). Он опроверг абсолютность времени и его независимость от наблюдателя. Оказалось, что время может растягиваться и сокращаться в зависимости от того, насколько быстро вы движетесь.

Здесь мне следует пояснить, что все эти вариации в скорости течения времени не имеют ничего общего с нашим собственным субъективным его восприятием. Разумеется, на бытовом уровне нам всем знакомо ощущение того, как быстро может промелькнуть время на приятной вечеринке или как оно бесконечно тянется на скучной презентации. Мы знаем, что на самом деле в таких ситуациях время не ускоряется и не замедляется. Точно так же, по мере того как мы становимся старше, кажется, будто время бежит все быстрее и быстрее. В этом случае мы также знаем, что это происходит не потому, что время ускоряется, а потому, что с каждым уходящим годом мы теряем частичку своей жизни. Просто вспомните, как это было в детстве, каким долгим казалось время, проходящее от одного дня рождения до другого. Несмотря на подобный опыт, у нас у всех есть мощное внутреннее чувство, что доподлинно «где-то здесь» существует абсолютное ньютоновское время, которое течет с одной и той же скоростью во всей Вселенной.

Но еще до Эйнштейна находились ученые и философы, которых не устраивали представления об абсолютном внешнем времени, и многие из них обсуждали спорные вопросы, касающиеся скорости и направления времени. Некоторые философы утверждали, что время само по себе иллюзорно. Рассмотрим следующий мини-парадокс, напоминающий идею, с которой мог бы выступить Зенон.

Уверен, вы согласитесь, что время можно разделить на три компонента: прошлое, настоящее и будущее. Хотя у нас есть записи, повествующие о прошлом, и мы помним события, которые происходили раньше, нельзя считать, что прошлое существует и теперь. С другой стороны, будущему еще только предстоит произойти, следовательно, можно сказать, что оно тоже не существует. Остается только настоящий момент, который мы определяем как линию, разделяющую прошлое и будущее. Разумеется «сейчас» существует. Но хотя мы и чувствуем, что «сейчас» — это изменяющийся момент, постоянно несущийся сквозь время, превращая будущее в прошлое, это не более чем мгновение, не имеющее как таковое продолжительности. Постоянно изменяющийся настоящий момент — это не более чем линия, разграничивающая прошлое и будущее, и о нем также нельзя сказать, что он на самом деле существует. Если ни одного из трех компонентов времени не существует, значит, время само по себе — иллюзия!

Можете, как и я, относиться к таким философским доводам с долей скептицизма.

Но вернемся к основному предмету нашего обсуждения. Что труднее всего подтвердить, так это то, что время на самом деле течет. Разумеется, сложно отрицать ощущение того, что это происходит, однако науке недостаточно «внутренних» ощущений касательно чего бы то ни было независимо от их силы. В повседневной речи мы говорим «время проходит»,

«придет время», «пролетел миг» и так далее. Но если подумать, любое движение и изменение должно по определению оцениваться относительно времени. Именно так мы определяем само понятие изменения. Когда мы хотим описать скорость какого-то процесса, мы подсчитываем либо количество событий за единицу времени, как в случае с частотой сердечных сокращений в минуту, либо степень изменения, произошедшего за единицу времени, как в случае с месячной прибавкой веса у младенца. Но пытаться измерять скорость, с которой изменяется само время, бессмысленно, поскольку нельзя измерить время относительно него самого.

Но даже существование внешнего времени, относительно которого мы можем измерить скорость течения нашего времени, не решает проблему, а всего лишь переводит ее на новый уровень. Несомненно, если время по своей природе течет, то почему это внешнее время также не должно течь? В этом случае мы возвращаемся к той же проблеме: нам понадобится следующая, еще более фундаментальная временная шкала, с помощью которой мы будем измерять течение внешнего времени, и так далее в бесконечной регрессии.

То, что мы не можем говорить о *скорости* течения времени, не означает, что время не течет вовсе. Или, возможно, время стоит на месте, пока мы (или наше сознание) движемся вдоль него: мы направляемся к будущему, а не оно приближается к нам. Глядя в окно движущегося поезда на поля, вы знаете, что они стоят на месте, а движется поезд. Аналогично у нас есть сильное субъективное ощущение того, что настоящий момент (то, что мы называем «сейчас») и событие из нашего будущего (скажем, следующее Рождество) приближаются друг к другу. Временной промежуток, разделяющий эти два события, сокращается. Говорим ли мы, что следующее Рождество приближается к нам или что мы приближа-

емся к следующему Рождеству, разницы нет: мы чувствуем, что что-то изменяется. Все мы можем согласиться с этим? Боюсь, нет. Многие физики заявляют, что даже эта идея несостоятельна.

Пусть это прозвучит странно, но законы физики ничего не говорят о течении времени. Они рассказывают нам о том, как все на свете — от атомов до часов, ракет и звезд — ведет себя под воздействием какой-либо силы в любой заданный момент времени, и обеспечивают нас правилами, на основании которых можно вычислить поведение объекта или его состояние в любой момент времени в будущем. Однако ни в одном законе физики не найти и намека на течение времени. Понятие *хода* или *движения* времени в физике полностью отсутствует. Мы видим, что, подобно пространству, время просто существует, оно просто есть. Возможно, это наше ощущение того, что время течет, в действительности есть не более чем ощущение, каким бы реальным оно нам ни казалось. На сегодняшний день наука не может дать удовлетворительное объяснение того, откуда у нас берется это сильнейшее ощущение *хода* времени и смены настоящего момента. Некоторые физики и философы даже заявляют, что наши законы физики что-то упускают. Вполне возможно, они правы.

Замедление времени

Давайте рассмотрим природу времени согласно теории Эйнштейна. В предыдущей главе я рассказал, как для двух наблюдателей, движущихся на высокой скорости друг относительно друга, одни и те же длины оказываются разными. Вот быстрый способ понять, как это должно повлиять на время. Знакомая всем со школьной скамьи формула гласит, что скорость равна расстоянию, деленному на время. Теперь

мы знаем, что для наблюдателей, независимо от того, как быстро они движутся относительно друг друга, свет имеет одну и ту же скорость. Если они измерят расстояние и получат разные результаты (как в примере с шестом и сараем), значит, полученные ими значения времени тоже должны быть разными, ведь, если они разделят свои соответствующие результаты измерений расстояния на время, у них обоих должно получиться одно и то же (правильное) значение скорости света. Если один наблюдатель измеряет расстояние между двумя точками и получает результат, равный 1 миллиарду километров, а затем определяет, что луч света проходит это расстояние за час, то у второго наблюдателя, утверждающего, что расстояние между точками равно 2 миллиардам километров (вспомните из предыдущей главы, что два наблюдателя, движущиеся друг относительно друга, никогда не получают одинаковые значения длины), должно получиться, что луч света будет лететь в два раз дольше, чтобы время его прибытия соответствовало скорости света. В числовом выражении первый наблюдатель скажет, что свет прошел 1 миллиард километров за час, а второй, что свет прошел 2 миллиарда километров за два часа, то есть его скорость равнялась 1 миллиарду километров в час, как и в случае с первым наблюдателем.

Таким образом, из-за требования, согласно которому скорость света должна быть постоянна для всех наблюдателей, нам придется принять мысль, что временные промежутки между двумя событиями (время между точками начала и конца пути светового луча) будут иметь разные значения для разных наблюдателей — мой час может равняться двум вашим часам.

Поскольку всем нам трудно осознать эту идею различий в скорости времени, я сделаю еще одну попытку убедить вас. Пред-

ставьте, что вы светите фонариком в небо, а я взлетаю на ракете вдоль этого светового луча, удаляясь от вас на скорости, равной трем четвертям световой. Вы обнаружите, что свет (движущийся на скорости 1 миллиард километров в час) обгоняет меня на четверти той скорости, с которой он выходит из фонарика (так же как быстрый автомобиль обгоняет медленный со скоростью, равной разнице их скоростей). Как вы думаете, рассуждая логически, что я должен увидеть, если выгляну в иллюминатор? С точки зрения здравого смысла я, как и вы, должен увидеть, что свет обгоняет меня со скоростью, равной четверти той скорости, с которой он удаляется от вас. Однако, поскольку Эйнштейн настаивает на том, что все наблюдатели при измерении скорости света получают одинаковые значения, на самом деле я должен увидеть, что свет обгоняет меня со скоростью 1 миллиард километров в час (это та же скорость, с которой он выходит из вашего фонарика). Именно об этом говорит нам теория относительности, и этот результат за прошедшее столетие экспериментально подтверждался тысячи раз. Но каковы будут следствия?

Небольшое предостережение: я использую глагол «видеть», говоря об измерении скорости луча света. Но, разумеется, чтобы мы смогли что-то увидеть, свет должен дойти от этого объекта до наших глаз. На это требуется время. Что мы вообще имеем в виду, когда говорим, что видим луч света? Подразумеваем ли мы свет, отраженный от света? Поэтому слово «видеть», использованное здесь, означает «измерять» каким-либо образом (к примеру, в случае светового импульса засекая точное время, за которое он дойдет до специальных датчиков на своем пути).

Как же может быть, что я, двигаясь вдоль луча света на скорости, равной трем четвертям его скорости относительно вас на Земле, вижу, как он пробегает мимо меня с той же

скоростью, с которой покидает фонарик? Единственный вариант, при котором это возможно, заключается в том, что для меня время течет медленнее, чем для вас. Представьте себе, что у нас с вами совершенно одинаковые часы. В этом случае вы увидите, что мои часы идут медленнее. Но не только — все процессы на борту моей ракеты для вас будут протекать медленнее, даже мои движения будут замедлены, и моя речь будет звучать медленнее и ниже по тембру. Однако я при этом буду чувствовать себя как обычно и не замечу никаких признаков замедления времени.

Студенты, изучающие теорию Эйнштейна, учатся математически рассчитывать степень замедления времени при заданной скорости ракеты. Время на борту ракеты, путешествующей на скорости в три четверти световой, относительно часов стороннего наблюдателя будет идти на 50 % медленнее. Это значит, что каждая минута согласно корабельным часам будет соответствовать 90 секундам на часах наблюдателя.

Можно подумать, что подобная ситуация представляет лишь гипотетический интерес, поскольку у нас нет ракет, способных развивать подобную скорость. Но эффект замедления времени проявляется даже при куда более скромных скоростях. Скажем, в случае космических кораблей лунной миссии «Аполлон» (скорость — около 40 000 км/ч) часы корабля и часы в центре управления миссией на Земле каждую секунду рассинхронизируются на несколько наносекунд (крошечная разница, слишком маленькая, чтобы ее нужно было учитывать, но определенно поддающаяся измерению). Чуть позже мы ненадолго вернемся к этому примеру.

Итак, урок, который мы извлекаем из специальной теории относительности Эйнштейна, заключается в том, что следствием постоянства скорости света является замедление

времени при движении со сверхвысокими скоростями. Настал момент сообщить вам еще одну сногшибательную новость о природе времени. Вспомните: в главе 3 мы говорили о том, что Эйнштейн на самом деле создал две теории относительности: специальную теорию относительности (СТО) в 1905 году и общую теорию относительности (ОТО) в 1915 году. Именно в последней он пересмотрел идеи Ньютона относительно природы гравитации и описал эту силу более фундаментально с точки зрения влияния массы на саму структуру окружающих ее пространства и времени.

Таким образом, общая теория относительности Эйнштейна предоставляет нам альтернативный способ замедления времени — с помощью гравитации. Земная гравитация заставляет время течь медленнее, чем это происходит в вакууме, вдали от притяжения звезд и планет. Поскольку все объекты имеют массу, их окружают собственные гравитационные поля. Чем массивнее объект, тем сильнее действует его гравитационное притяжение на окружающие тела, тем больше, согласно Эйнштейну, он влияет на ход времени. У этого есть одно замечательное следствие, касающееся скорости движения времени на Земле: чем выше мы поднимаемся, тем слабее гравитационное притяжение планеты, тем быстрее будет бежать время. На практике этот эффект ничтожен — чтобы по-настоящему освободиться от влияния гравитационного поля Земли, нам придется отправиться очень далеко в космос. Даже на высоте 400 километров, соответствующей стандартной спутниковой орбите, гравитационное притяжение все еще составляет 90 % от того, которое мы испытываем на поверхности Земли. Заметьте, что спутники могут кружить вокруг Земли бесконечно, не падая вниз, именно потому, что находятся в состоянии свободного падения на околоземной

орбите, следовательно, не имеют веса, поскольку продолжают свое безостановочное движение.

Я люблю приводить один забавный пример, когда описываю влияние гравитации на время. Если мои наручные часы отстают, можно исправить это, подняв руку над головой. Поскольку часы теперь находятся выше, земная гравитация будет действовать на них чуть меньше — и они пойдут чуть быстрее. Этот эффект совершенно реален, однако он настолько мал, что проделывать подобное упражнение бессмысленно. К примеру, чтобы наверстать хотя бы одну секунду, мне пришлось бы держать руку над головой несколько сотен миллионов лет!

В некоторых случаях два типа замедления времени (согласно СТО и ОТО соответственно) могут работать друг против друга. Представьте себе двое часов: одни находятся на Земле, а другие — на спутнике, вращающемся вокруг Земли (рис. 6.1). Какие из них будут идти быстрее? Высокая скорость движения часов на орбите заставит их идти медленнее относительно часов на Земле, но то, что они находятся в свободном падении на орбите Земли и, следовательно, не испытывают гравитационного притяжения, заставит их идти быстрее. Какой из этих эффектов пересилит?

Все это само по себе начинает выглядеть довольно парадоксально, однако сочетание данных эффектов полностью подтвердилось в замечательном эксперименте, проведенном в начале 1970-х годов. Сегодня он известен как эксперимент Хафеле — Китинга (по именам двух американских ученых, проводивших его).

В октябре 1971 года Джозеф Хафеле и Ричард Китинг установили очень точные часы на борту двух самолетов коммерческих авиакомпаний и отправили их в кругосветное путеше-

ствии. Один самолет полетел на восток, по направлению вращения Земли, а другой — на запад, в направлении, противоположном ее вращению. Затем ученые сравнили их показания с показаниями часов в Военно-морской обсерватории США, расположенной в Вашингтоне.

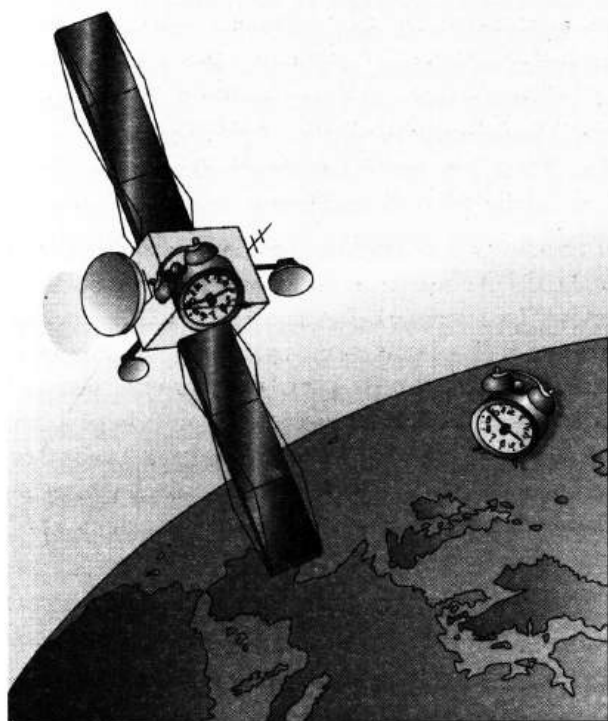


Рис. 6.1. Ускорение времени.

Часы на борту спутника идут быстрее
или медленнее, чем часы на Земле?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно хорошо разобраться
в обеих теориях относительности Эйнштейна

Эти два эффекта — замедление быстро движущихся часов и ускорение часов, находящихся на большой высоте, — следовало тщательно оценить с учетом того, летел ли самолет по направлению вращения Земли или против него. Давайте хорошенько разберемся с этим. Поскольку высота, на которой летят самолеты, примерно одинакова, и те и другие часы будут испытывать меньшее гравитационное притяжение и это ускорит их относительно часов на земле. Самолет, движущийся на восток, летит по направлению вращения Земли, следовательно, он будет лететь быстрее (как лодка, плывущая по течению) и часы на борту будут идти медленнее часов на Земле, в то время как часы на борту самолета, летящего на запад, против вращения Земли (подобно лодке, плывущей против течения), будут идти немного быстрее, чем часы на Земле.

В начале эксперимента часы тщательно синхронизировали. По его окончании оказалось, что часы, двигавшиеся на восток, отстают на 0,04 микросекунды (миллионная доля секунды). В этом случае эффект замедления хода часов вследствие высокой скорости превысил противодействующий эффект ускорения вследствие ослабления земной гравитации на большой высоте. Что касается часов, двигавшихся на запад, то они *спешили* почти в 10 раз сильнее (на 0,3 микросекунды). На этот раз ускорение времени вследствие слабого воздействия гравитации было усилено эффектами специальной теории относительности.

Все это приводит в некоторое замешательство, и даже лучшим из физиков приходится хмурить брови в раздумье, пытаясь понять, что происходит. Но важно, что в обоих случаях данные экспериментов полностью соотносились с результатами математических расчетов, опирающихся на теории Эйнштейна.

В наши дни эти эффекты учитываются в работе спутников GPS, создающих карты всей поверхности Земли (еще один пример из реальной жизни, который я вам обещал). Без поправок на эти крошечные изменения в скорости течения времени на борту спутников и на Земле мы бы не смогли определять свое местоположение с помощью смартфона или автомобильного навигатора с той точностью, к которой мы привыкли. Эта точность (в пределах нескольких метров) зависит от того, сколько времени требуется сигналу от устройства на Земле, чтобы добраться до спутника и вернуться обратно (и это время нужно определить с точностью до нескольких сотых микросекунды). Насколько же все будет плохо, если мы проигнорируем релятивистские эффекты? Что ж, вследствие относительности движения часы на борту спутников будут отставать от наших примерно на семь микросекунд в день. Однако отсутствие гравитационного воздействия на спутники (вспомним, что они находятся на орбите, в состоянии свободного падения) означает, что их часы будут уходить вперед относительно земных примерно на 45 микросекунд в день. В сумме получается, что часы будут каждый день уходить вперед на 38 микросекунд. Поскольку каждая микросекунда соответствует расстоянию около 300 метров, если мы проигнорируем Эйнштейна, спутники будут ошибаться с определением нашего местоположения более чем на 10 километров каждый день — и этот эффект будет накапливаться.

Теперь, когда я обрисовал вам идею гравитационного замедления времени, а также ускорения времени на высоких скоростях, давайте кратко вспомним пример с часами на борту лунных миссий «Аполлон». Это поможет нам при решении задачи близнецов.

«Аполлон-8» был вторым пилотируемым кораблем в рамках американской космической программы «Аполлон». На нем

впервые человек летел за пределы земной орбиты. Три члена экипажа — Фрэнк Борман, Джеймс Ловелл и Уильям Андерс — стали первыми людьми, отправившимися достаточно далеко, чтобы увидеть планету Земля полностью, а также своими глазами увидевшими обратную сторону Луны. По возвращении Фрэнк Борман отметил, что все они стали старше, чем должны были быть, если бы не полетели на Луну. Более того, он пошутил, что им нужно заплатить сверхурочные за дополнительные доли секунды, которые они провели в полете, в сравнении с временем, прошедшим на Земле. Хотя с финансовой точки зрения это не имело значения, дополнительное время, проведенное на борту космического корабля, было вполне реальным.

Может показаться, что это противоречит центральному парадоксу этой главы, в которой путешествующая сестра-близнец Алиса по прибытии оказывается моложе брата, оставшегося дома. На самом деле эффект оказался полностью противоположным из-за небольшого взаимодействия между двумя релятивистскими временными эффектами. В общей сложности все три космонавта постарели примерно на 300 микросекунд больше, чем если бы они остались на Земле. Давайте разберемся почему.

Идет ли время на борту «Аполлона-8» быстрее или медленнее, чем на Земле, зависит от того, как далеко находится космический корабль. Первые несколько тысяч километров его полета земная гравитация еще не ослабла в достаточной мере, чтобы время на борту сильно ускорилось, и скорость «Аполлона» относительно Земли остается доминирующим фактором. Этот эффект замедляет время, и космонавты стареют медленнее, чем люди на Земле. Однако по мере того, как они удаляются от Земли, эффект гравитационного притяжения уменьшается — и время на борту «Аполлона» начинает

ускоряться, вследствие чего эффекты ОТО начинают преобладать над эффектами СТО. На протяжении всего путешествия это ускорение времени доминировало, следовательно, на борту корабля прошло больше времени, чем на Земле, отсюда дополнительные 300 микросекунд.

Ради интереса физики НАСА тщательнейшим образом проверили, прав ли Борман в том, что касается сверхурочного времени, и обнаружили, что это верно только для Уильяма Андерса, совершавшего на «Аполлоне-8» свой первый космический полет. Борман и Ловелл до этого участвовали в двухнедельной орбитальной миссии на «Джемини-7», во время которой, согласно подсчетам, доминирующим эффектом было замедление времени вследствие высокой скорости (следовательно, они постарели меньше, чем люди на Земле, примерно на 400 микросекунд). Итого в сухом остатке для этих двоих остается – 100 микросекунд, и они оказались слегка моложе, чем были бы, если бы остались на Земле. Таким образом, они не только не заработали сверхурочных, им еще переплатили!

Решение парадокса близнецов

Теперь, когда мы установили, как гравитация воздействует на время, давайте вернемся, чтобы рассмотреть и, надеюсь, успешно разрешить парадокс Алисы и Боба, упомянутый в начале этой главы. Вспомните: каждый из них может заявить, что не он, а другой на самом деле двигался, следовательно, каждый из них утверждает, что это для другого время шло медленнее. Боб говорит, что Алиса улетела на космическом корабле и по возвращении оказалась моложе, чем он, в то время как Алиса утверждает, что это Боб вместе с Землей улетел от нее, а затем вернулся обратно, что

это время Боба текло медленнее и именно он постарел меньше.

Существует несколько путей анализа этой задачи, и мы с моими студентами на курсе, который я веду в Университете Суррея, получаем массу удовольствия, рассматривая различные аргументы. Давайте начнем с самого простого.

Верный ответ, как я уже говорил, заключается в том, что прав Боб, а Алиса ошибается: она вернется более молодой, чем ее брат. Во-первых, отметим, что их ситуации не полностью равнозначны. Когда Алиса будет покидать Землю, ей придется ускориться, а затем, если она летит по прямой линии, она должна замедлиться, развернуться и опять ускориться; наконец, когда она снова достигнет Земли, ей придется замедлиться. Во-вторых, скорость Боба все это время остается постоянной. Даже если Алиса продолжит двигаться по круговой траектории, что позволит продолжать лететь с той же скоростью, она все равно ощутит эффекты ускорения, поскольку постоянно будет изменять направление. Следовательно, относительное движение близнецов не полностью симметрично: на Алису воздействует ее путешествие, в то время как Боб остается на неспешно вращающейся Земле. Однако очевидного объяснения того, что Алиса постареет меньше, нам это не дает.

Можно взглянуть на эту задачу и без учета какого-либо ускорения и замедления. Алиса начинает свой путь в космосе и достигает нужной скорости до того, как пролетит мимо Земли, и именно в этот момент они с Бобом синхронизируют часы. Она летит по прямой на постоянной скорости и затем в некоторой точке (я знаю, что звучит нереалистично, но потерпите минутку) мгновенно меняет направление, не изменяя скорости, чтобы вновь направиться к Земле.

Подобную ситуацию физики называют идеализированной (на практике она невозможна, но служит в качестве удобного упрощенного примера, не отклоняющегося от истины). Теперь мы можем проанализировать ситуацию с точки зрения расстояния, которое преодолела Алиса, измеренного каждым из близнецов, ведь то, что Алиса постареет меньше, можно объяснить с точки зрения эффекта сокращения длин.

Предположим, точка, в которой Алиса развернется, расположена у звезды Альфа Центавра, находящейся в четырех световых годах от Земли (это значит, что ее свету требуется четыре года, чтобы достичь нас, и наоборот). Если Алиса летит на скорости, равной половине скорости света, то с точки зрения Боба ей понадобится в два раза больше времени, чем свету, чтобы преодолеть это расстояние: восемь лет в одну сторону, всего 16 лет. Однако с точки зрения Алисы расстояние, которое ей предстоит преодолеть, сокращается вследствие релятивистского эффекта ее скорости (или скорее скорости приближения к ней Альфы Центавра), поскольку она в полном праве утверждать, что космический корабль находится в состоянии покоя. Теперь стало очевидно, что с ее точки зрения путешествие туда и обратно (когда Алиса сможет утверждать, что Земля движется по направлению к ней) будет короче, чем с точки зрения Боба. Если ей не нужно лететь так далеко, это путешествие не займет так много времени.

На самом деле, разумеется, Алиса не сможет совершить этот мгновенный разворот; ей придется замедлиться, развернуться, а затем ускориться снова. Именно в этом месте нам пора обратиться ко второму эффекту замедления времени, связанному с общей теорией относительности. Но в чем же проявляется гравитационный эффект в этом случае? В приведенном примере точкой, в которой Алиса делала разворот,

была Альфа Центавра, но это необязательное условие. Алиса могла развернуться где угодно в пустом космическом пространстве и не столкнуться ни с каким гравитационным полем. Итак, осталась еще одна (последняя) идея Эйнштейна, о которой мы должны подумать.

Самая счастливая мысль в его жизни

Вы когда-нибудь интересовались, почему при описании эффектов ускорения быстрого автомобиля или реактивного самолета мы используем понятие перегрузки (англ. *g-force*)? Мы говорим, что пилот гоночного болида при ускорении, торможении или быстром заходе на вираж испытывает перегрузки в несколько *g*. Буква *g* означает гравитацию, подчеркивает важную связь, существующую между ускорением и силой тяготения. Все мы испытывали подобные ощущения. Сидя в самолете, который вот-вот взлетит, вы вначале слышите рев турбин, когда пилот запускает их на полную мощность, затем вас вдавливают в сиденье, по мере того как самолет разгоняется на взлетной полосе, быстро набирая скорость, прежде чем подняться в воздух. Попробуйте оторвать голову от подголовника кресла до того, как самолет взлетит, и вы почувствуете, как некая сила вдавливает ее обратно. Это сопротивление похоже на то ощущение, которое вы испытываете, когда лежите на спине и чувствуете, как вес вашей головы притягивает ее к подушке. Если ускорение самолета равно 1 *g*, это будет в точности такое же ощущение. Ускорение имитирует эффекты гравитации.

За несколько лет до того, как Эйнштейн закончил работу над общей теорией относительности, ему пришла в голову мысль об эквивалентности этих сил. Он дал ей довольно незамысловатое название — принцип эквивалентности. Позже он

говорил, что это осознание, этот возглас «Эврика!» был самым счастливым моментом его жизни и это, как ничто другое, демонстрирует его преданность науке. Он размышлял над тем, что происходит, когда предметы находятся в состоянии свободного падения. Ощущение невесомости, которое мы испытываем при спуске с американских горок, как нельзя лучше иллюстрирует эту эквивалентность, ведь именно в этот момент, когда мы поддаемся гравитационному полю Земли, мы перестаем ощущать его притяжение. Как будто наше ускорение, направленное вниз, отменяет воздействие силы тяготения.

Эйнштейн развил эту идею, доказав, что все эффекты, оказываемые гравитацией на время и пространство, также проявляются при ускорении объектов. В самом деле, если вы сидите в кресле космического корабля, испытывающего ускорение 1 g , ваши ощущения будут не отличаться от ощущений, которые вы бы испытывали, если бы на Земле кресло опрокинулось спинкой на пол. В обоих случаях вы ощутите одну и ту же силу, вдавливающую вас в спинку кресла. Эта идея имеет критическое значение, поскольку подразумевает, что ускорение точно так же, как гравитационное поле, должно замедлять течение времени (и это на самом деле так). Если вы проводите некоторое время, ускоряясь или замедляясь, это воздействует на вас так же, как погружение в гравитационное поле, и данный эффект будет суммироваться с эффектом собственно земной гравитации.

Итак, мы можем положить конец парадоксу близнецов. Причина, по которой Алиса постареет меньше, чем Боб, заключается в том, что именно она испытывает ускорение и замедление, следовательно, согласно общей теории относительности ее время в эти периоды течет медленнее независимо от того, летит она туда и обратно по прямой или нет. Чем чаще она

будет изменять направление, прокладывая извилистую траекторию в космическом пространстве, тем больше времени она будет находиться в состоянии ускорения и замедления и тем меньше времени пройдет для нее (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Замедление времени.
Бегая кругами на околосветовой скорости,
вы замедляете свое время

Глядя на часы

Полагаю, на этом мы можем остановиться. Все-таки парадокса близнецов (или парадокса часов, как его иногда называют) не существует, поскольку путешествия близнецов в пространстве-времени несимметричны. Но интересно

было бы разобраться, что каждый из близнецов увидит, если у них будет возможность посылать друг другу сообщения во время путешествия.

Алиса и Боб могут договориться подавать друг другу световой сигнал через одинаковые временные промежутки согласно собственным часам. Допустим, они будут отправлять эти световые сигналы один раз в день в одно и то же время. Во время полета Алисы в направлении «туда» они движутся в противоположные стороны на большой скорости, поэтому оба будут получать сигналы друг друга с интервалами более 24 часов вследствие временных эффектов специальной теории относительности. Но вдобавок каждому световому импульсу придется преодолеть большее расстояние, чем предыдущему, следовательно, будет происходить дополнительная задержка сверх той, которая обусловлена замедлением времени. Этот второй эффект аналогичен принципу, лежащему в основе доплеровского смещения (изменение частоты волн, испускаемых движущимися источниками, будь то свет или звук).

Далее всякий раз, когда Алиса замедляется, ускоряется или изменяет направление, время для нее замедляется еще сильнее и ее сигналы прибывают с еще большей задержкой. Но особенно интересно то, что произойдет на обратном пути. Эти два эффекта, во время движения от Земли работавшие сообща на отсрочку прибытия ее световых сигналов, теперь начинают противостоять друг другу. Движение близнецов относительно друг друга на высокой скорости все еще означает, что для каждого из них часы другого будут идти медленнее, но, поскольку световые сигналы, которые они посылают, преодолевают все более короткие расстояния, по мере того как близнецы приближаются друг к другу, они начнут прибывать группами. Согласно математическим

расчетам, это нагромождение (прибытие сигналов с частотой более одного за сутки) будет преобладать над эффектом замедления времени — и часы одного близнеца начнут спешить для второго и наоборот. Более того, все процессы и действия, происходящие с одним близнецом, второй будет видеть в ускоренном темпе и наоборот. Тем не менее в итоге с учетом всех этих поправок Алиса по возвращении на Землю будет моложе Боба.

Можно ли что-то еще сказать по этому вопросу? Да. Вот она развязка, наконец. Ведь если Алиса по собственным ощущениям путешествовала в течение года и теперь возвращается на Землю, где прошло 10 лет, то разве она только что не отправилась в будущее на девять лет?

Экономвариант путешествий во времени

Многие возразят, что замедление времени — это не настоящее путешествие во времени. В конце концов, чем это лучше замедленного движения или, если подумать, сна? Если вы засыпаете и просыпаетесь, думая, что проспали всего пару минут, а затем, посмотрев на часы, видите, что прошло несколько часов, разве это нельзя в некоторой степени считать путешествием в будущее?

Я уверяю вас, что релятивистское замедление времени — куда более впечатляющая вещь, и это действительно путешествие во времени, хоть и в экономварианте. Вы можете подумать, что настоящее путешествие в будущее подразумевает, что будущее уже здесь, что оно существует параллельно с настоящим и только ждет вашего потенциального прибытия. Но все обстоит не так. На самом деле будущее разворачивалось на Земле все то время, что Алиса была за ее

пределами. Дело в том, что, поскольку для нее прошло меньше времени, ее хронометраж отличается от земного. В некотором смысле она стремительно унеслась в будущее и прибыла туда раньше, чем кто-либо еще. Как далеко в будущее удастся забраться Алисе, полностью зависит от скорости ее космического корабля и того, насколько извилистой будет траектория полета.

Вопрос заключается в другом: если Алисе не понравится то, что она увидит по возвращении на Землю, есть ли у нее возможность вернуться в свое время? Это, конечно, подразумевает путешествие назад в прошлое, и здесь мы сталкиваемся с совершенно иной проблемой. Именно этот вопрос подводит нас еще к одному парадоксу, который мы рассмотрим в следующей главе.

Глава 7

Парадокс дедушки

Если вы отправитесь в прошлое и убьете своего дедушку, то никогда не родитесь на свет

Если бы вам пришлось отправиться в прошлое и убить своего дедушку по линии матери до того, как он встретит вашу бабушку, ваша мать никогда не родилась бы, впрочем, как и вы. Но если бы вы не родились, то не смогли бы убить своего дедушку, а значит, он будет жить и встретит вашу бабушку, следовательно, в конечном итоге вы родитесь, отправитесь в прошлое и убьете его и так далее. Эти умозаключения образуют порочный круг. Похоже, вы не можете убить своего дедушку, потому что вы прибыли, чтобы попытаться сделать это.

Существует множество вариантов этого классического временного парадокса. К примеру, я никогда не понимал, зачем вам нужно отправляться так далеко и убивать своего дедушку, вместо того чтобы убить мать или отца. Наверное, если пропустить поколение, это звучит не так страшно.

Подобная жестокость не является обязательным условием, просто изначально этот парадокс сформулировали именно так (возможно, тогда были более суровые времена). К примеру, в куда более мягкой версии вы строите машину времени, затем отправляетесь в прошлое и разрушаете ее до того, как использовать, так что вы не можете отправиться назад и уничтожить ее.

Существует еще одна формулировка этого парадокса. Ученый обнаруживает на полке в лаборатории чертежи машины времени. Он строит машину по этим схемам и спустя месяц использует ее, чтобы отправиться на месяц назад во времени, захватив с собой чертежи. Он кладет их на полку своей лаборатории, чтобы его более молодая версия смогла их найти.

Очевидно, как и в случае с парадоксом дедушки, кажется, что наше будущее предопределено и у нас больше нет никакой свободы выбора. В случае первого парадокса вы не можете убить своего дедушку, потому что он должен пережить все покушения на свою жизнь, чтобы вы вообще смогли появиться на свет. Во втором примере ученый должен построить машину времени, поскольку он это сделал/делает/сделает (трудно определиться с временной формой глагола, говоря о путешествиях во времени). Но что, если он найдет среди чертежей записку, в которой поясняется, что их положил на полку он сам, прибывший из будущего, и он решит, что не станет создавать эту машину и вместо этого уничтожит чертежи?

В этой истории заключается еще один парадокс, который легко упустить. Он проистекает из того, что чертежи по созданию машины времени, похоже, вообще не были созданы: ученый нашел их, использовал и вернул, тем самым поместив их во временную петлю. Откуда взялась эта информация? Как вышло, что атомы чернил оказались аккуратно упорядочены на поверхности бумаги? Для того

чтобы создать эти чертежи, нужны знания, но похоже, что они оказались заперты в логически непротиворечивом замкнутом круге событий. Чертежи путешествуют вперед в реальном времени и назад с помощью машины времени — и из этого круга нет выхода, но что еще важнее, нет никакой отправной точки, исходного момента появления этих чертежей (рис. 7.1).

Сегодня нам всем хорошо знакома идея путешествий в прошлое благодаря множеству научно-фантастических книг и фильмов, вспомните хотя бы блокбастеры «Терминатор» и «Назад в будущее». Большинство зрителей готовы уменьшить свой скепсис — и это правильно, если вы не хотите испортить себе удовольствие. С другой стороны, в этой погоне за впечатлениями будет трудно избежать логической путаницы.

Существует третий и последний парадокс, который нам также следует упомянуть: использование машины времени нарушает закон сохранения массы и энергии. К примеру, можно отправиться в прошлое на пять минут и встретиться с самим собой, так что в одно и то же время будет существовать две ваши версии. В этот момент ваше тело внезапно возникнет из ниоткуда, привнеся во Вселенную дополнительную массу. Но будьте осторожны, это не похоже на феномен физики субатомных частиц, известный как парное возникновение, когда частица и ее античастица-партнер (нечто вроде зеркального отражения) могут возникнуть из чистой энергии. Видите ли, перед вашим прибытием не происходит никакого расхода энергии, которая могла бы компенсировать ваше внезапное появление. Таким образом, мы действительно нарушаем одно из центральных положений физики — первое начало термодинамики, которое гласит, говоря простым языком, что нельзя создать что-то из ничего.

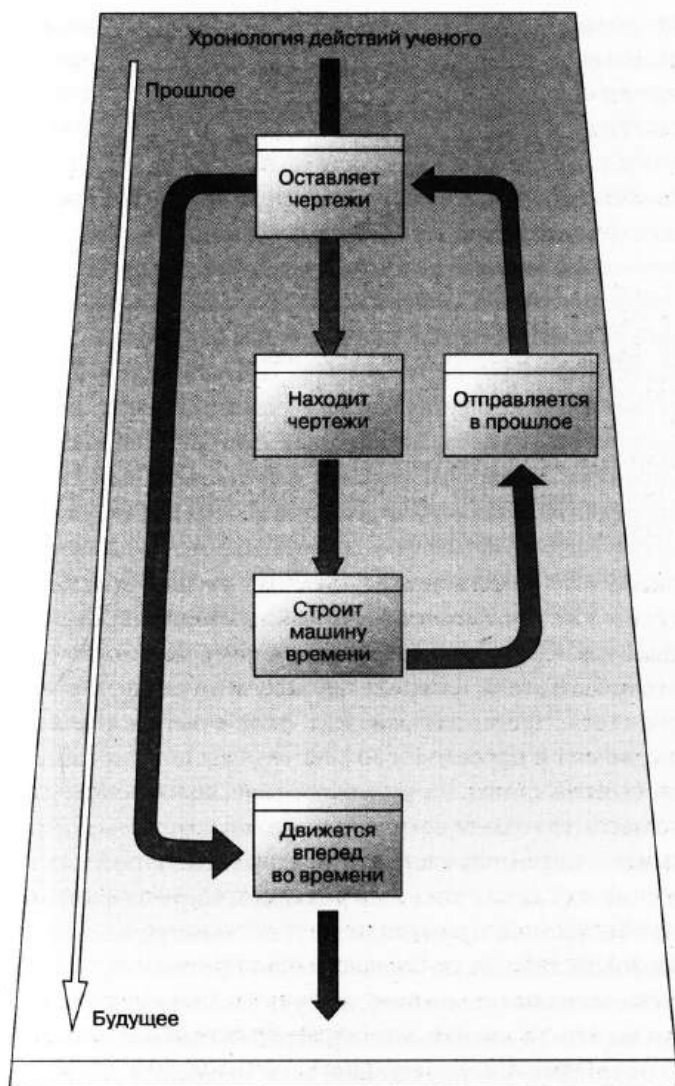


Рис. 7.1. Парадокс путешествий во времени

Некоторые предлагают следующее решение временных парадоксов: они настаивают, что путешественник во времени не способен влиять на события прошлого и может действовать только как наблюдатель. В этом случае мы можем отправиться в прошлое и наблюдать за развитием событий так же, как если бы смотрели фильм (посвящены в действие, но невидимы для окружающих). К сожалению, подобная пассивная форма путешествий во времени хотя на первый взгляд и лишена парадоксов, на самом деле еще менее реальна. Причина такова: чтобы мы смогли что-либо увидеть, как видит окружающую действительность путешественник в прошлое, фотоны (частицы света) должны долететь от объекта, на который смотрит наблюдатель, до его глаз. Затем они должны запустить каскад химических реакций и электрических процессов в сетчатке, в результате чего сформируются нервные импульсы, которые отправятся в головной мозг, где будут расшифрованы. Эти фотоны уже провзаимодействовали самым что ни на есть реальным образом со всеми объектами, на которые смотрит наблюдатель, и перенесли полученную информацию в его глаза. Чтобы наблюдатель смог «потрогать», «почувствовать» прошлое и во всех отношениях провзаимодействовать с ним, на микроскопическом уровне у него должна быть возможность обмениваться фотонами с окружающим миром, поскольку практически любой вид контакта между двумя телами в реальном мире на фундаментальном уровне происходит путем электромагнитного взаимодействия, включающего обмен фотонами. Я не хочу слишком сильно усложнять, но суть заключается вот в чем: если вы что-то видите, значит, вы должны быть способны это потрогать. Следовательно, если мы можем отправиться назад во времени и увидеть прошлое, значит, мы также

должны иметь возможность провзаимодействовать с ним и в полной мере поучаствовать в его событиях.

Если мы хотим избежать парадоксов, возникающих при нашем взаимодействии с прошлым, придется найти другой путь.

Как попасть в прошлое?

Есть два способа путешествовать в прошлое. Первый заключается в отправке информации *назад* во времени. Этот тип путешествий во времени вдохновил писателя-фантаста Грегори Бенфорда, написавшего в 1980 году роман «Панорама времен». В нем рассказывается об обмене информацией между учеными, разделенными несколькими десятками лет: исследователи отправляют сообщение из 1998 года в 1962-й, чтобы предупредить коллег об угрозе экологической катастрофы. Для этого они используют гипотетические субатомные частицы — тахионы. Их существование предсказывается расчетами теории относительности Эйнштейна, но они обладают настолько удивительными свойствами, что в наши дни их можно встретить только на страницах научно-фантастических романов. Видите ли, тахионы (название происходит от греч. *tachys* и означает «быстрые»; было придумано в 60-е, когда ученые посвятили некоторое время серьезному изучению этого вопроса) — это частицы, движущиеся быстрее света. В таком случае они также должны путешествовать назад во времени.

Знаменитое забавное описание этого вывода можно найти в лимерике британско-канадского биолога Реджинальда Буллера, опубликованном в журнале «Панч» в 1923 году.

Аспирантка по имени Света
Превышала порой скорость света.
Выйдет завтра с утра,
А вернется вчера —
Относительно быстрая Света¹.

Как и почему так должно происходить, мы рассмотрим чуть позже.

Второй способ попасть в прошлое заключается в том, что вы по своим субъективным ощущениям движетесь вперед во времени (ваши часы идут как обычно), но при этом следуете через пространство-время по искривленной траектории, которая выводит вас назад в прошлое (подобно петле американских горок). Такие петли в физике называются замкнутыми времяподобными кривыми, и в последние годы ученые посвятили им ряд серьезных теоретических исследований.

Несомненно, то, что я упоминаю тахионы и времяподобные кривые, наводит на мысль, что я не собираюсь отбросить саму идею парадоксов путешествий во времени. Это было бы слишком легко: просто сказать, что путешествия в прошлое (в противовес разновидности путешествий во времени, которую мы рассмотрели в предыдущей главе) невозможны с точки зрения логики. С таким подходом эта глава стала бы совсем короткой. Вместо этого мы попыта-

¹ В оригинале:
There was a young lady named Bright
Who travelled far faster than light.
She went out one day
In a relative way
And returned the previous night.

емся решить эти пока что наиболее трудные научные парадоксы в рамках того, что позволяет наше теперешнее понимание законов физики. Причина, по которой я отношусь к ним серьезно, заключается в том (возможно, это станет для вас сюрпризом), что начиная с середины прошлого столетия известно, что теории относительности Эйнштейна на самом деле допускают возможность путешествий в прошлое, хотя и при определенных условиях и только благодаря некоторым странностям в математических расчетах. Специальная теория относительности Эйнштейна говорит о возможности путешествий во времени первого типа (обратный ход причинно-следственных связей при путешествии быстрее скорости света), в то время как общая теория относительности допускает возможность второго, более «традиционного» способа путешествий во времени с помощью времяподобных кривых. Логик Курт Гедель, работавший с Эйнштейном в Принстонском университете в 1940-е годы, математически доказал, что такое путешествие в прошлое возможно хотя бы теоретически и при этом никакие законы природы не нарушатся (не считая парадоксов, с которыми мы столкнулись). Следовательно, если мы хотим спасти репутацию Эйнштейна, нам придется встретиться с этими парадоксами лицом к лицу.

Быстрее света

Давайте вначале разберемся, почему, двигаясь быстрее скорости света, мы переместимся назад во времени. Для этого я использую уже знакомый нам из главы 5 сюжет с шестом и сараем. Напомню, вы стоите внутри сарая, наблюдая за бегуном, держащим в руке сокращенный по длине шест и приближающимся к вам на околосветовой

скорости. Поскольку для вас шест короче сарая, вы можете закрыть обе двери одновременно, заперев шест внутри сарая на долю секунды. В принципе, вы даже можете закрыть переднюю дверь, как только задний конец шеста прошел ее, но *до того*, как закроете заднюю дверь. Поскольку шест короче сарая, у вас будет короткий промежуток времени между моментом, когда задняя часть шеста войдет в сарай (и передняя дверь сарая захлопнется за ней), и моментом, когда передняя часть шеста достигнет задней двери (к этому моменту задняя дверь должна быть снова открыта, чтобы пропустить шест наружу). Именно в этот короткий промежуток у вас есть возможность закрыть заднюю дверь. Итак, повторим, в вашей системе координат возможно закрыть переднюю дверь сарая, а затем заднюю.

Но что произойдет, если задняя дверь будет захлопываться по сигналу о закрытии передней двери? Теперь у нас образовался фиксированный порядок событий: задняя дверь закроется (следствие) только *потому*, что передняя дверь уже закрылась (причина). Причина обязана идти перед следствием, это явление, известное как причинно-следственная связь, — один из ключевых принципов природы. Если следствие предшествует причине, это нарушает причинно-следственную связь и может привести к всевозможным логическим парадоксам. К примеру, если я щелкну выключателем, чтобы зажечь свет, то мое действие — это причина, а освещение комнаты — следствие. Но если мимо меня пролетит наблюдатель, движущийся со скоростью, превышающей скорость света, то он увидит, что свет загорается до того, как я щелкну выключателем. Теоретически он может помешать мне сделать это уже *после* того, как увидит, что свет зажегся. Ведь согласно «относительности одновремен-

ности» для двух наблюдателей, движущихся относительно друг друга на околосветовой скорости, между событиями не только проходят разные временные промежутки, но иногда (если события достаточно близки друг к другу по времени) они даже могут увидеть, как события разворачиваются в обратном порядке. Именно такая разновидность парадоксов обратной причинно-следственной связи произойдет, если сигналы смогут перемещаться со скоростью, превышающей скорость света.

Чтобы лучше это понять, давайте вернемся к примеру с шестом и сараем. Как вы помните, бегун видит укороченный сарай, внутрь которого его шест никак не сможет поместиться. В его системе отсчета, которая настолько же релевантна, насколько и ваша, когда вы стоите внутри сарая, двери должны закрываться в следующем порядке: сначала закрывается задняя дверь, затем она открывается снова, пропуская передний конец шеста, *до того как закроется передняя дверь*. Только при таком порядке событий шест сможет беспрепятственно пройти сквозь сарай, при том что каждая из дверей на какой-то миг будет закрыта. Но если задняя дверь закрывается только потому, что к ней приходит сигнал от закрывшейся передней двери, то для бегуна события будут происходить в обратном порядке — и следствие произойдет раньше своей причины. А значит, у нас проблема.

Тем не менее с точки зрения теории относительности все это прекрасно объясняется и подкрепляется серьезными математическими выкладками. Рассмотрим следующую ситуацию. Вы проводите эксперимент, заключающийся в том, что, когда вы щелкаете выключателем на Земле, на Луне загорается лампочка. Свету требуется около 1,3 секунды, чтобы преодолеть расстояние от Земли до Луны, так

что если ваш сигнал летит на Луну со скоростью света, то вы увидите в телескоп вспышку спустя 2,6 секунды (время, за которое свет успеет слетать туда и обратно). Если вы увидите вспышку спустя всего две секунды, это будет означать, что время, прошедшее между нажатием на выключатель и вспышкой, составляет всего 0,7 секунды ($2 - 1,3$). Звучит вполне правдоподобно, но теория относительности объясняет нам, почему в природе такое невозможно.

Для того чтобы окончательно в этом убедиться, вам придется провести соответствующие математические расчеты или же просто поверить мне на слово. Для человека, который сидит в ракете, летящей на Луну с околосветовой скоростью, вспышка света на Луне случится *до* того, как вы щелкнете выключателем на Земле. Тогда он сможет сразу же после этого отправить вам свой сигнал на сверхсветовой скорости, сообщающий о вспышке на Луне. С вашей точки зрения, этот сигнал будет двигаться назад во времени, и вы можете даже получить его *до* того, как щелкнете выключателем. После чего можете *передумать* прикасаться к нему. Единственный способ избежать подобной ситуации — исключить саму возможность передачи информации со скоростью, которая превышает скорость света.

Это одна из причин, почему физики считают, что ничто не может двигаться быстрее скорости света, поскольку если бы это было возможно, то приводило бы к истинному парадоксу. Я считаю, что это исключает саму возможность путешествий в прошлое первого типа.

Но что насчет времяподобных кривых, формирующих петли пространства-времени?

Блок-вселенная

Чтобы вы смогли лучше представить пространственно-временные траектории, я познакомлю вас с идеей блок-вселенной. Это простой и одновременно основательный способ изображения объединенного пространства-времени.

Представьте себе Вселенную в виде огромного прямоугольного ящика. Что, если мы захотим добавить время в качестве еще одного измерения? В результате у нас получится объединенная четырехмерная система пространства-времени, называемая блок-вселенной. Однако, поскольку мы не способны мыслить в четырех измерениях, придется упростить эту идею, если мы хотим получить в результате схему, несущую какую-нибудь практическую пользу. Мы пожертвуем одним пространственным измерением, превратив объемное трехмерное пространство в плоский двухмерный лист, образующий одну из поверхностей (или сторон) блок-вселенной. Тогда измерение, идущее слева направо под прямым углом к этой поверхности (третье измерение), можно использовать в качестве оси времени. Представьте себе это в виде гигантской нарезанной буханки хлеба, где каждый ломоть представляет собой мгновенный снимок всего пространства, а последовательность ломтей соответствует временной последовательности. Разумеется, картинка неточная, поскольку пространство не двухмерно, а трехмерно, однако это хороший способ представить временную ось. Рисунок 7.2 демонстрирует, как это поможет нам визуализировать блок-вселенную.

Что на этой схеме отображено хорошо, так это то, что любое событие, происходящее в определенном месте и в определенное время, можно изобразить с помощью точки внутри

этого ящика (x на рис. 7.2). Что еще важнее, теперь мы видим перед собой развернутую картину всего времени — панораму времен — со всеми событиями как в прошлом, так и в будущем, существующими в этой безвременной и статичной блок-вселенной.



Рис. 7.2. Блок-вселенная

Но имеет ли эта схема какое-либо отношение к реальности, или это не более чем удобное средство визуализации? К примеру, как провести связь между этой статической моделью пространства-времени и реальным ощущением того, что время идет? В физике есть два способа. Здравый смысл подсказывает, что наше «сейчас» — это всего лишь пространственный «ломоть», слева от которого лежит Вселенная прошлого, а справа — Вселенная будущего. На практике такой взгляд на бытие в целом (в котором все время — про-

шное, настоящее и будущее — замерло и лежит перед нами) для нас невозможен, поскольку мы не можем исключить себя из Вселенной. Наше «сейчас» движется слева направо, перепрыгивая мгновение за мгновением, от одного среза к другому, подобно кадрам кинофильма. Альтернативный подход заключается в том, чтобы полностью покончить с самим понятием настоящего момента, так что прошлое, настоящее и будущее будут существовать вместе и все события, которые когда-либо произошли или произойдут, будут находиться в блок-вселенной рядом друг с другом. В такой модели будущее не просто предопределено, оно уже произошло и зафиксировано в неизменном состоянии, как и прошлое.

На самом деле это нечто большее, чем просто удобная визуализационная модель. Такую точку зрения навязывает нам переплетение времени и пространства в нашей реальной Вселенной, описанное в эйнштейновской теории относительности. Представьте себе два несвязанных события А и Б, которые могут иметь или не иметь причинно-следственную связь, при этом событие А происходит до события Б и в совершенно другом месте. Согласно пониманию пространства и времени в доэйнштейновские времена, пространственный и временной разрыв между событиями А и Б предполагал, что они независимы друг от друга и одинаковы для всех наблюдателей. Но Эйнштейн доказал, что два наблюдателя, движущиеся друг относительно друга и измеряющие две эти величины (пространство и время), в обоих случаях получают разные результаты. Правда, если связать события друг с другом в пространстве-времени, мы увидим, что в пределах блок-вселенной все наблюдатели сойдутся на одном и том же расстоянии между двумя событиями, состоящем из временного и пространственного

компонентов. Только в системе пространства-времени мы можем получить абсолютные значения, с которыми согласятся все наблюдатели. Для теории относительности это ключевой момент. Разумеется, нас интересует в данном случае не это — мне просто показалось нелишним упомянуть, что мы создаем подобные модели не просто красоты ради.

Параллельное существование всех времен в блок-вселенной делает саму идею путешествий во времени куда более возможной. Если мы можем отправиться назад во времени в определенный момент, то относительно людей, живущих в этот момент, мы прибудем в их настоящее (их «сейчас») из будущего. Для них будущее так же реально, как и настоящее. В любом случае что делает наше «сейчас» более особенным, чем их «сейчас»? Мы не можем заявлять, что наше настоящее — это и есть истинное «сейчас» и что они просто думают, будто живут в настоящем, потому что мы точно так же можем представить себе путешественников из будущего, прилетевших в наше время; для них мы — это прошлое. Итак, и наше прошлое, и наше будущее, и вообще все времена должны существовать вместе и быть одинаково реальны. Именно это показывает нам модель блок-вселенной.

Путешествия во времени в блок-вселенной

По сути, никто не знает, как на самом деле течет время, если оно вообще течет. Но во всяком случае мы можем приписать ему направление, так называемую стрелу времени. Это абстрактная идея, означающая, что мы можем определить порядок событий. Стрела времени направлена из прошлого

в будущее, от более ранних событий к более поздним. Это то направление во времени, в котором развиваются события. Думайте о нем как о направлении, к которому нас принуждает второй закон термодинамики. Это похоже на стрелочку на кнопке *Play* на DVD-плеере: хоть вы и можете промотать фильм вперед или назад, он все равно идет только в одном направлении.

Несмотря на это ограничение, блок-вселенная напоминает один огромный фильм на DVD, в котором мы вольны перепрыгивать с одного кадра на другой — в прошлом или в будущем. Истинного настоящего момента не существует, поскольку всякий момент в фильме настолько же реален, как и все остальные, все они существуют параллельно. Возможно ли тогда контролировать таким образом время в реальной Вселенной? Действительно ли все моменты прошлого и будущего находятся где-то рядом, происходят «когда-то», не менее реальны, чем то, что мы ощущаем как свое настоящее? Если это так, то как нам попасть в них? Вот ключевой вопрос. Мы знаем, что можем передвигаться из одной точки пространства в любую другую, так почему же мы не можем сделать то же самое во времени?

Возможное решение парадоксов путешествий во времени

Когда физики сталкиваются с трудностями при проверке прогнозов своих теорий, иногда они прибегают к так называемым мысленным экспериментам — идеализированным воображаемым сценариям, не нарушающим законы физики, но при этом невозможным на практике или слишком гипотетическим, чтобы их можно было воплотить в жизнь в виде настоящих лабораторных экспериментов.

Один из них называется машиной времени бильярдного стола. С помощью этого эксперимента мы можем попытаться выяснить, что случится, если какой-либо объект отправится в прошлое и встретится там с самим собой. Что получится с точки зрения математики?

Идея заключается в том, что бильярдный шар падает в лузу, связанную посредством машины времени с другой лузой того же стола, оснащенную пружинным механизмом, который выбрасывает шар обратно на стол в момент, предшествующий его попаданию в первую лузу. Благодаря этому он может столкнуться сам с собой, еще не упавшим в лузу.

Некоторых парадоксов в этом мысленном эксперименте легко можно избежать, если допустить развитие только тех ситуаций, которые сразу же не приведут к парадоксальным исходам. Физики называют это допустимыми решениями. Так, шар может отправиться в прошлое, выскочить из другой лузы и заставить более раннюю версию себя отклониться от траектории так, чтобы она попала в лузу, позволившую ему отправиться назад во времени. Однако ситуация, когда шар вылетает из лузы и сталкивается с более ранним собой, заставляя его отклониться от нужной лузы, не допускается, поскольку приводит к парадоксу.

Идея, лежащая в основе всех парадоксов путешествий во времени, такова: в нашей Вселенной существует всего одна версия прошлого. Оно уже случилось, и его нельзя изменить. Теоретически мы можем отправиться в прошлое и вмешиваться в ход истории сколько захотим при условии, что все, что мы будем делать, приведет именно к тому порядку вещей, который уже установился. Мы не можем

изменить ход истории, потому что являемся неотъемлемой частью Вселенной и несем с собой воспоминания о том, как разворачивались события в прошлом. Что случилось, то случилось.

Мы даже можем придумать сценарий, в котором все произошло так, как произошло, только *благодаря тому*, что путешественник во времени отправился в прошлое и вмешался в ход событий, как в случае с машиной времени бильярдного стола.

Итак, если мы будем настаивать на том, что возможны только «допустимые решения», поможет ли это нам решить *все* парадоксы путешествий во времени? Ответом будет огульное «нет». На поверхности все выглядит хорошо: вы можете отправиться в прошлое и встретить там младшую версию себя, только если вы помните, как в прошлом встретились с собой из будущего. Если же нет, значит, встреча так и не произошла и никогда не произойдет. Аналогичным образом в более кровавом сценарии с дедушкой вы не сможете убить своего предка, потому что доказательством того, что вам это не удалось (по какой угодно причине), является ваше существование.

Однако это не поможет нам разрешить другие упомянутые мной парадоксы, а именно парадокс с не созданными никем чертежами машины времени, пойманными в петлю времени. Единственный способ решить его в этом примере заключается в том, что более молодая версия ученого находит чертежи, уничтожает их, не изучая, затем придумывает машину времени и создает аналогичные чертежи, которые можно отправить в прошлое и положить на полку. Видите ли, ученому недостаточно уничтожить чертежи после того, как он взглянет на них, ведь информация, как создать машину времени, поймана во временную петлю.

Наконец, аргумент о допустимых решениях не объясняет нарушение первого закона термодинамики, которое происходит, когда машина времени со своим содержимым неожиданно-негаданно появляется в прошлом, привнося в тот самый момент во Вселенную дополнительные массу и энергию, пусть и позаимствованные у будущего.

Настоящие путешествия во времени возможны только в мультивселенной

Мы уже рассмотрели большинство теорий путешествий во времени, а теперь давайте взглянем на одну из самых причудливых и в то же время самых значительных идей, возникших в теоретической физике за последние 50 лет, — идею о параллельных вселенных. В изначальном варианте она была разработана для того, чтобы объяснить некоторые наиболее странные выводы и наблюдения, связанные с квантовым миром, в котором атомы могут находиться одновременно в нескольких местах и способны вести себя как крошечные частицы, занимающие определенное место, или же как распространенные волны (в зависимости от того, каким образом мы их изучаем). В этом мире частицы, похоже, могут взаимодействовать друг с другом, даже находясь на противоположных концах Вселенной. Подобные явления сами по себе могут выглядеть парадоксально, к ним мы вернемся в главе 9, где наконец встретимся с котом Шрёдингера. Сейчас же особый интерес для нас в этой теории параллельных вселенных представляет та ее часть, которая касается возможности перемещений во времени.

Более ранняя версия идеи параллельных вселенных называлась многомировой интерпретацией квантовой меха-

ники. Согласно ей, когда субатомная частица попадает в ситуацию выбора из двух или более вариантов, Вселенная расщепляется на несколько параллельных реальностей, число которых соответствует числу вариантов выбора. В соответствии с этой точкой зрения существует бесконечное число вселенных, отличающихся от нашей в большей или меньшей степени (в зависимости от того, как давно они разделились), и каждая из этих вселенных настолько же реальна, как и наша. На первый взгляд эта идея кажется безумной, но если сопоставить ее с другими столь же безумными выводами квантовой физики, она вызывает ничуть не меньше доверия.

На протяжении нескольких десятков лет многомировая интерпретация оставалась курьезом физики и сферой деятельности научной фантастики. До сих пор не было обнаружено никаких экспериментальных данных, подтверждающих существование параллельных вселенных, и у нас нет никакого способа установить с какой-либо из них контакт. Как для всех этих миров и измерений нашлось место? В конце концов, вполне возможно, что наша собственная Вселенная простирается бесконечно. Где же тогда могут находиться все остальные? Их можно представить в виде накладывающихся друг на друга блок-вселенных. Все они имеют одну и ту же временную ось, но пространственные измерения у каждой вселенной свои. Они лежат друг на друге, но контактируют между собой только на квантовом уровне.

Ближе к современности многомировая идея вселенных, ответвляющихся друг от друга, сменилась более сложной теорией квантовой мультивселенной. Согласно этой теории, Вселенная не делится все время на собственные многочисленные копии, вместо этого уже есть бесконечное

число параллельных вселенных, существующих бок о бок и накладывающихся друг на друга, и все они одинаково реальны. Внезапно наша блок-вселенная оказалась очень густонаселенной. Но у этой идеи есть некоторые преимущества по сравнению с идеей единственной блок-вселенной, имеющей лишь одно будущее, зафиксированное и статичное. Теперь перед нами вновь открываются все возможные варианты будущего, и мы можем снова провозгласить свободу воли. Выбор, который мы делаем, ведет нас всеми путями по всем возможным вариантам пространства-времени — и именно этот выбор пути в конечном итоге определяет нашу Вселенную. Лежащий перед нами бесконечный выбор возможных вариантов будущего отражает бесконечное число вселенных, существующих в пределах мультивселенной.

Внезапно, истинное путешествие во времени становится возможным, ведь наше пространство-время содержит всего лишь один вариант будущего из всех возможных и бесконечное число вариантов прошлого. Путешествие назад во времени в мультивселенной не отличается от обычного движения в будущее — перед нами огромное число вариантов будущего, и точно так же существует множество вариантов прошлого, которое мы можем посетить. Путешествие во времени должно включать прохождение по временной петле одного из возможных вариантов прошлого. Это значит, что времяподобная кривая, ведущая в прошлое, почти неизбежно приведет нас в прошлое соседней параллельной вселенной. Подумайте об этом так: если бы вам удалось заново прожить свою жизнь и вы попытались бы каждый раз делать тот же выбор и все те же самые действия, что и в прошлый раз, то, как бы сильно вы ни старались, во второй раз что-то бы пошло по-другому.

Не обязательно потому, что вы сделали что-то немного не так, но, вероятно, потому, что что-то еще в каком-то другом месте пойдет немного другим пространственно-временным путем, изменяя будущее, — и ваше будущее в конечном итоге окажется немного другим. То же самое произойдет, если вы вернетесь назад в прошлое: вы ни за что не окажетесь в прошлом своей собственной вселенной, поскольку это крайне маловероятно. Зато в высшей степени допустимо, что вы окажетесь в прошлом вселенной, практически идентичной вашей. На самом деле с учетом сложности строения любой вселенной будет практически невозможно отличить новую вселенную от изначальной — той, которая существовала до того, как вы вмешались в ход событий в прошлом.

Попав туда, вы вольны изменять прошлое как захотите, поскольку это больше не ваше прошлое. В параллельной вселенной события не обязаны идти тем же чередом, как в вашей вселенной. Однако вам следует запомнить: шансы, что вам удастся вернуться домой (в свою родную вселенную), крайне малы — у вас будет слишком много вариантов.

Теперь посмотрим, как с помощью теории мультивселенной можно решить парадокс дедушки и другие парадоксы путешествий во времени. Начнем с изначального парадокса. Теперь вы можете убить своего дедушку (хотя это все равно не очень хороший поступок) в новой вселенной, в которую попадете. Все, что произойдет, — *в той вселенной* вы никогда не родитесь.

Пример с ученым и машиной времени также объясняется в рамках этой теории. Ученый, путешествующий во времени, попадает в параллельную вселенную, в которой более молодой он может выбрать, строить машину времени

по этим чертежам или нет. Даже если он решит отказаться от идеи путешествий во времени, никакого парадокса не возникнет.

Даже проблема нарушающегося закона сохранения массы в этом случае решена, ведь теперь закон распространяется не на каждую вселенную в отдельности, а на всю мульти-вселенную. Ваши энергия и масса переместились из одной вселенной в другую, но суммарная масса и энергия мультивселенной остались неизменны.

Соединяя вселенные

Одна из проблем концепции мультивселенной, за которую нам еще предстоит взяться, — это щекотливый вопрос о причинно-следственных связях. Похоже, та параллельная вселенная, в которой вы окажетесь, должна заранее «знать» о вашем прибытии. Поскольку конечная точка путешествия (в новой вселенной) соответствует более раннему моменту во времени, чем отправная точка в вашей вселенной, ваше непредвиденное появление не просто должно удовлетворять законам физики в новой вселенной. Выбор, который вы сделаете, и изменения, которые привнесете, не произошли бы, если бы вы не отправились назад во времени. Действительно ли это лучше, чем парадокс путешествия во времени в рамках собственной вселенной? Похоже, что события, уже произошедшие в параллельной вселенной, вынуждают вас в будущем вашей собственной вселенной отправиться назад во времени. Можем ли мы нарушить причинно-следственные связи, если причина и следствие принадлежат разным реальностям? Все еще звучит сомнительно, не так ли?

Из этой ситуации существует выход, однако он требует, чтобы машина времени была построена и включена не с вашей стороны, а с той, куда вы прибудете в прошлом. Таким образом связь между вселенными прокладывается только *в прямом временном направлении*. Как только связь установлена, она позволит осуществлять двусторонние путешествия между вселенными. При этом общая теория относительности допускает (по меньшей мере в теории) способ соединения нашей вселенной с параллельной именно таким образом. Этот способ называется пространственно-временной червоточиной.

Червоточины представляют собой гипотетические образования ткани пространства-времени. Ученые не считают, что они на самом деле есть, но, поскольку их существование вполне допустимо в рамках теории (причем лучшей из имеющихся на сегодня теорий природы пространства и времени), мы можем по крайней мере рассмотреть такую *возможность*. В отличие от своих родственниц черных дыр (образующихся при сжатии материи под невероятно высоким давлением, как это происходит в коллапсирующих звездах или центрах галактик), реальность существования которых в космическом пространстве сейчас не вызывает сомнений у большинства физиков и астрономов, червоточины могут возникать только при особых условиях. Такие условия, как мы думаем, естественным образом не образуются в нашей Вселенной. Тем не менее хотя бы в теории червоточина может стать коротким путем сквозь пространство-время, уводящим из нашей Вселенной и либо возвращающим в нее в абсолютно другом времени и месте, либо ведущим в параллельную вселенную. Именно такие пространственно-временные туннели в конечном итоге дарят нам надежду на путешествия во времени (рис. 7.3).

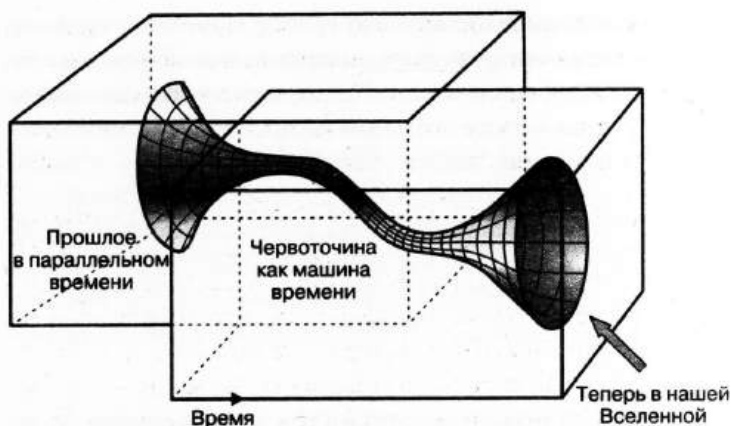


Рис. 7.3. Червоточина пространства-времени.

Чтобы избежать парадоксов, червоточина должна соединяться с прошлым параллельной вселенной

Итак, удалось ли нам благополучно списать со счетов парадокс дедушки и другие, переведя их в разряд мнимых парадоксов, тающих под натиском физической науки? На самом деле нет. Хотя я и подчеркнул возможные пути решения этих парадоксов, мне пришлось перейти в плоскость спекулятивных рассуждений. Разумеется, я не нарушил ни одного закона физики, однако идеи, подобные мультивселенной и червоточинам пространства-времени, остаются за пределами устоявшейся науки. Об этом интересно размышлять, но невозможно подтвердить... во всяком случае пока.

Куда подевались все путешественники во времени?

Многие используют этот вопрос в качестве аргумента против самой возможности путешествий во времени. Если пу-

тешестве в прошлое возможно, то, разумеется, какие-то путешественники, решившие посетить наше время, должны находиться сейчас среди нас. Но до сих пор ни один нам так и не встретился. Разве это не доказательство того, что машина времени так никогда и не будет построена?

Хотя путешествия в прошлое действительно могут оказаться невозможными либо потому, что параллельные вселенные и червоточины не существуют, либо вследствие какого-либо еще не обнаруженного уточнения к теории относительности Эйнштейна, исключающего их возможность, отсутствие среди нас путешественников во времени — слабый аргумент. Ошибка заключается в том, что мы думаем, будто связь между двумя временами с помощью червоточины или чего бы то ни было еще устанавливается в тот момент, когда путешественник начинает свой путь в прошлое. Это не так. Связь возникает в момент создания машины времени (или ее включения), *позволяющей* совершать такие путешествия. Если в XXII веке мы поймем, как построить машину времени, то ее можно будет использовать для путешествий в прошлое начиная с того момента, как она была запущена, но никак не для путешествий в XXI век. Причина в том, что при постройке машины времени образуется связь между разными временами в пределах мультивселенной. Все времена, предшествующие созданию машины времени, будут потеряны и более недоступны. Это исключает возможность отправиться назад в доисторические времена (если только мы не наткнемся на машину времени естественного происхождения, скажем очень старую червоточину где-то в глубинах пространства-времени).

Итак, одна из причин, почему среди нас сегодня нет путешественников во времени, заключается в том, что машину времени просто еще не изобрели.

Существует целый ряд возможных объяснений, почему мы не сталкиваемся с путешественниками во времени. Например, если теория мультивселенной верна (а я бы сказал, что она должна быть верной, если мы допускаем саму возможность путешествий во времени), то наша вселенная просто не относится к числу счастливиц, в которых побывали такие путешественники (с учетом предположения, что в параллельных вселенных машину времени уже изобрели). Еще одна причина — путешествия в прошлое невозможны по каким-то еще не открытым законам физики. Причина может быть и более прозаической: ожидая встретить среди нас путешественников во времени, мы предполагаем, что они захотят посетить наше столетие. А ведь, возможно, у них есть более безопасные и интересные варианты. Или же путешественники во времени на самом деле уже среди нас, но предпочитают не привлекать к себе внимания.

Глава 8

Парадокс демона Лапласа

*Может ли взмах крыльев бабочки спасти нас
от предсказуемого будущего?*

«Очень трудно сделать точный прогноз, особенно о будущем», — сказал однажды датский специалист в области квантовой физики Нильс Бор. Эта фраза может показаться банальной, но, как это часто бывает с высказываниями Бора, за этими словами скрываются глубокие идеи о природе судьбы, свободе воли и нашей возможности понять, как будут разворачиваться события в будущем.

Позвольте для начала изложить следующий парадокс. Примерно за 50 лет до первого появления демона Максвелла французский математик Пьер-Симон Лаплас изобрел собственного воображаемого демона. Демон Лапласа намного могущественнее демона Максвелла, поскольку он знает точное положение и состояние не только всех молекул

в сосуде, но вообще всех частиц во Вселенной и понимает все законы физики, согласно которым они взаимодействуют между собой. Это означает, что теоретически такой всеведающий демон способен вычислить, как будет развиваться Вселенная с течением времени, и предсказать, каким будет ее состояние в будущем. Но если так, то он может, руководствуясь этой информацией, предпочесть сознательно произвести действия, которые заставят будущее развиваться по другому сценарию, тем самым делая его предыдущее предсказание ложным и сводя на нет собственную способность видеть будущее (ведь, разумеется, в своих расчетах он должен был принять во внимание и эти действия).

Вот забавный пример, хорошо иллюстрирующий этот парадокс. Представьте себе демона в виде гигантского суперкомпьютера, настолько могущественного и с таким объемом памяти, что в нем могут уместиться все мельчайшие детали строения и работы Вселенной вплоть до состояния всех атомов, образующих сам компьютер, и всех электронов, пробегающих сквозь его схемы. Имея всю эту информацию, он может в точности рассчитать, каким будет будущее. Далее операторы дают ему простую команду, получение которой он предположительно предсказал. Ее суть заключается в том, что суперкомпьютер должен уничтожить сам себя, если, согласно расчетам, в будущем он все еще будет существовать, и ничего не делать, если в рассчитанном будущем его больше не будет (поскольку он уничтожит себя сам). Повторим еще раз: если суперкомпьютер предскажет будущее, где он все еще существует, то он перестанет существовать, а если он предскажет будущее, в котором его нет, то он будет существовать. В любом случае прогноз окажется ошибочным. Так выживет машина или нет?

Подобно множеству других парадоксов в этой книге, вместе с решением мы узнаем нечто фундаментальное о реальности и выйдем далеко за пределы обычного философского спора. Сам Лаплас, судя по всему, не осознавал парадоксальной природы своего демона (он называл его просто умом). Вот его оригинальное описание:

«Мы должны рассматривать настоящее состояние Вселенной как следствие ее предыдущего состояния и причину последующего. Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел Вселенной наравне с движениями легчайших атомов, — не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее так же, как и прошедшее, предстало бы перед его взором»¹.

Лаплас не искал парадокс — он использовал эту гипотезу, чтобы подчеркнуть идею, казавшуюся тогда многим неопровержимой: что во Вселенной господствует детерминизм. Это слово имеет центральное значение для парадокса, описанного в этой главе, поэтому нам понадобится разобраться в том, что оно значит, и дать ему четкое определение. Детерминизм означает, что будущее, в принципе, может быть предсказано. Однако описанный выше парадокс подразумевает, что мы должны исключить такую возможность: Лаплас ошибался и наша Вселенная не может быть детерминированной. Но, как мы вскоре увидим, с учетом некоторых оговорок и неопределенностей в современных физических теориях у нас есть все основания считать, что наша Вселенная детерминирована.

¹ Лаплас П. С. Опыт философии теории вероятностей. — М., 1908. — С. 9.

Означает ли это, что мы должны отбросить свои представления о свободе воли, поскольку наша судьба уже предопределена? К тому же как нам тогда разрешить парадокс демона Лапласа?

Можно сравнить эту ситуацию с парадоксами путешествий во времени из предыдущей главы. В том случае наше прошлое было зафиксировано и известно, но нам нужно было отправиться туда, чтобы изменить его и создать парадокс. В этом же случае демон Лапласа знает будущее, однако путешествовать во времени ему не обязательно. Он просто ждет, когда будущее придет к нему, и в процессе этого ожидания может вмешаться в текущие события, заставляя будущее измениться.

Один не очень научный способ исключить парадоксы путешествий во времени заключается в том, чтобы настаивать на невозможности путешествий в прошлое. Но в случае демона Лапласа путешествие во времени не требуется. Демон не может убежать от будущего, которое разворачивается вокруг, даже когда он бездействует, так что, похоже, нам потребуется другое объяснение, чтобы разрешить этот парадокс. Зачастую самое простое решение является верным, и в нашей ситуации это определенно должно быть так. В отличие от зафиксированного прошлого будущее все еще открыто, но тем не менее оно должно быть детерминировано. То, что демон предположительно может «видеть», — это всего лишь один из вариантов возможного будущего. Несомненно, чтобы предоставить демону (хотелось бы надеяться, и нам тоже) свободу выбора, наша Вселенная не может быть детерминированной. Этот аргумент кажется привлекательным, однако это не тот довод, без которого нам не решить парадокс демона Лапласа.

Чтобы вы поняли, почему такого простого объяснения недостаточно, представьте следующий сюжет. Вы используете суперкомпьютер для расчета состояния Вселенной в будущем. В этом будущем у нас появилась новая чудесная физическая теория, изобретенная благодаря десятилетиям изощренных экспериментов и достижениям, вклад в которые внесли многие великие ученые. Эта теория воплощена в ряде стройных математических уравнений. У вас есть компьютер, способный сообщить вам всю эту информацию (тем самым он освобождает вас от потребности пройти долгий путь научных исследований, который приведет вас к этой информации в будущем). Вы благодарите компьютер, выключаете его и отправляетесь за Нобелевской премией, не проделав никакой работы.

В этом и заключается проблема: если компьютер действительно предсказал один из бесконечного множества возможных вариантов будущего, в котором было сделано фундаментальное научное открытие, то мы видим, что здесь нет и намека на настоящее предсказание: это ничем не отличается от догадки, основанной на чистой случайности. Чем-то это напоминает популярную теорему о бесконечных обезьянах, согласно которой обезьяна, барабана по клавишам печатной машинки бесконечное количество времени, в какой-то момент по чистой случайности напечатает полное собрание сочинений Шекспира. Таким образом, это объяснение нам ничего не дает. Хотя компьютер потенциально способен изобрести новую научную «теорию всего» по чистой случайности, такой исход настолько маловероятен, что мы можем его игнорировать. Впрочем, компьютер может начать свои расчеты с настоящего момента, учитывая текущие знания и ход мыслей величайших физиков-теоретиков мира, а также идеи для

новых экспериментов, которые могут быть проведены в будущем, так что это не настолько невероятно, как обещаяна, случайным образом бьющая по клавишам и получающая в результате ту же теорию. Однако вероятность такого исхода все еще ничтожно мала.

Однако, несомненно, существует абсолютно полноценный способ решения этого парадокса, и я могу выложить все начистоту прямо сейчас. Может показаться, что я делаю это неохотно, но это только потому, что решение куда банальнее, чем заслуживает рассматриваемый нами парадокс. Описывая возможности суперкомпьютера, я упомянул, что он настолько всеведущ, что знает все нюансы собственной внутренней структуры и поэтому может предсказать свои собственные действия (забудем о наличии или отсутствии у компьютера свободы воли, предположим, что, несмотря на свою огромную мощь, он не обладает самосознанием и не подозревает, что может обмануть сам себя, сделав что-то отличное от того, что он сам предсказал). Разгадка обнаружится, если мы проанализируем, что означает для компьютера знать состояние всех атомов и электронов, из которых он состоит. Для этого он должен сохранить эту информацию в своей памяти, которая также состоит из атомов, упорядоченных строго определенным образом, являющимся частью той информации, которую удерживает память компьютера, и так далее. Разумеется, это парадоксальная ситуация, исключающая возможность того, что компьютер может обладать полной информацией о себе. Следовательно, он не может включить себя в расчеты, на основании которых предсказывает будущее, и это означает, что его знания о Вселенной неполные.

Вышеуказанного аргумента достаточно, чтобы исключить возможность существования демона Лапласа. Но можно ли

этим ограничиться в обсуждении этого парадокса? Вовсе нет. Подчеркнув возможность увидеть будущее, мы открыли ящик Пандоры, полный вопросов, связанных с тем, живем мы в детерминированной Вселенной или нет, что это говорит нам о нашей собственной свободе действий и о том, предопределено ли наше будущее. Во всех трех случаях науке есть что сказать.

Детерминизм

Давайте начнем с того, что четко охарактеризуем три понятия: детерминизм, предсказуемость и случайность.

Под словом «детерминизм» я подразумеваю то, что философы называют причинным детерминизмом, — идею, заключающуюся в том, что события в прошлом вызывают события в будущем. Из этого следует, если довести мысль до логического конца, что все, что происходит, делает это вследствие цепочки событий, которую можно проследить вплоть до самого рождения Вселенной.

В XVII веке Исаак Ньютон, используя инновационные методы математического анализа, одним из основоположников которых был он сам, разработал законы механики. На основании его уравнений ученые могут предсказать, как объекты будут двигаться и взаимодействовать друг с другом в разных ситуациях — от полета пушечного ядра до перемещений планет. Подставляя в его формулы значения физических свойств объекта (массу, форму и положение), а также скорости объекта и скорости действующих на него сил, мы получаем простые уравнения, предоставляющие нам информацию о состоянии объекта в любой момент времени в будущем.

Вследствие этого появилось широко распространенное мнение, продержавшееся следующие 200 лет: если все законы природы можно познать, то, в принципе, возможно рассчитать действия любого объекта во Вселенной в будущем. Перед нами лежала Вселенная, в которой все — любое движение, любое изменение — было предопределено. Не было ни свободы выбора, ни неуверенности, ни превратностей судьбы. Эта модель получила известность как механистическая вселенная Ньютона. На первый взгляд она не настолько уныла, как блок-вселенная Эйнштейна, в которой все, что когда-либо происходило или произойдет, было запечатлено в узоре времени еще до нашего появления. Но на самом деле механистическая вселенная ничуть не отличается в этом отношении, ее состояние предопределено и зафиксировано до конца времен.

Затем внезапно этот взгляд претерпел изменение. В 1886 году король Швеции предложил премию 2500 крон (значительная сумма, превышающая годовой доход большинства населения) тому, кто докажет (или опровергнет) стабильность Солнечной системы. То есть скажет наверняка, будут ли планеты вечно вращаться вокруг Солнца, или есть вероятность, что одна из них или несколько могут однажды упасть на Солнце либо же, наоборот, сбегать от его гравитационного притяжения и улететь прочь. Французский математик Анри Пуанкаре принял вызов. Вначале он рассмотрел более простую ситуацию, известную как задача трех тел, приняв во внимание только Солнце, Землю и Луну. Он выяснил, что, даже рассматривая только эти три тела, найти точное математическое решение этой задачи невозможно. Более того, некоторые конфигурации трех тел будут настолько чувствительны к начальным условиям, что, согласно уравнениям, поведение небесных тел станет полностью

беспорядочным и непредсказуемым. Пуанкаре получил королевскую премию несмотря на то, что так и не ответил на изначальный вопрос о стабильности всей Солнечной системы.

Пуанкаре открыл, что даже в случае системы, состоящей всего из трех тел, нельзя в точности предсказать, как она будет развиваться, не говоря уже о Солнечной системе со всеми ее телами (как минимум всеми планетами, их спутниками и Солнцем). Но последствия, вытекающие из этого, были исследованы только спустя три четверти века.

Эффект бабочки

Давайте дадим нашему всемогущему компьютеру задание попроще — предсказать, как разлетятся шары на бильярдном столе, когда в начале игры в них ударит биток. Все шары на столе так или иначе ощутят удар, большинство из них переживет серию столкновений, ударяясь друг о друга и о борта стола. Разумеется, компьютер должен будет знать, как сильно ударили кием по битку, а также точный угол, под которым он столкнулся с первым шаром из группы. Но достаточно ли этого? Когда все шары наконец остановятся, насколько близким окажется предсказание компьютера к их реальному распределению по столу? Хотя в теории абсолютно реально предсказать исход столкновения двух шаров, практически невозможно предугадать, чем закончится сложный процесс многократного соударения и отталкивания множества шаров на бильярдном столе. Если один из шаров будет двигаться под немного другим углом, он может столкнуться с другим шаром, столкновения с которым изначально мог избежать, таким образом, траектории обоих

этих шаров кардинальным образом изменятся. Конечный результат окажется совершенно иным.

Так что, похоже, мы должны сообщить компьютеру не только изначальное состояние битка, но и точные позиции всех остальных шаров на столе: касаются ли они друг друга, каковы точные расстояния между ними, а также между шарами и бортами стола и так далее. Но даже этого будет недостаточно. Крошечного островка пыли на одном из шаров достаточно, чтобы он отклонился от своей траектории на долю миллиметра или едва заметно замедлился, что слегка изменит силу, с которой он ударится о другой шар. Нам также нужно будет предоставить компьютеру точную и подробную информацию о состоянии покрытия стола, например, в каких местах оно немного запылилось или протерлось, так что трение в этих местах чуть усилится или, наоборот, ослабеет.

Но вы все еще можете предположить, что задача выполнима. *Потенциально* это возможно, если у нас будет вся информация об изначальных условиях и полное понимание всех законов и уравнений движения. Положение, в котором в конечном итоге оказываются шары, не случайно. Все они подчиняются законам физики и ведут себя с учетом того, как на них действуют силы в каждый момент времени (в полном соответствии с принципом детерминизма). Проблема заключается в том, что *на практике* мы не можем абсолютно достоверно предсказать их поведение, потому что нам понадобится информация обо всех изначальных условиях с высочайшей степенью точности, включая каждую частичку пыли на каждом шаре, каждое волокно в покрытии стола. Разумеется, если устранить трение между шарами и столом, то шары продолжат сталкиваться друг с другом и будут кататься по столу намного дольше, следовательно, нам понадобится знать их изначальное положение с еще большей

точностью, чтобы определить, в каком месте они окажутся, когда наконец останутся.

Эту невозможность с бесконечной степенью точности узнать все об изначальных условиях и других постоянных факторах воздействия и контролировать их можно обнаружить в куда более простых системах. К примеру, если вы подбрасываете монетку, слишком самонадеянно рассчитывать, что вам удастся при повторении того же самого действия снова и снова получать один и тот же результат. Если я подбрасываю монету и она падает орлом, мне будет трудно опять подбросить ее точно таким же образом, чтобы она перевернулась ровно то же количество раз и вновь упала орлом.

Как в примере с бильярдным столом, так и в случае с монеткой мы могли бы, имея полную информацию, повторить в точности те же действия и получить идентичный конечный результат. Эта воспроизводимость лежит в основе ньютоновского мира, ее можно обнаружить везде. Но то же самое касается и чувствительности к изначальным условиям. Мы постоянно наблюдаем это в повседневной жизни. Если однажды утром по пути на работу вы примете какое-то решение, скажем остановиться на секунду, прежде чем перейти дорогу, то можете пропустить возможность случайной встречи со старым другом и не узнаете от него информацию, которая привела бы вас на новую работу, способную изменить всю вашу жизнь. А если бы вы замешкались еще на долю секунды при переходе той же дороги, вас мог бы сбить автобус. Не исключено, что наша судьба нанесена на карту детерминированной Вселенной, но предсказать ее совершенно невозможно.

Тем, кто впервые изложил эти идеи, создав тем самым новую концепцию хаоса, был Эдвард Лоренц — американский

математик и метеоролог, случайно столкнувшийся с данным феноменом во время работы над моделями прогнозов погоды в начале 1960-х. Для запуска своей симуляции он использовал один из первых персональных компьютеров LGR-30. В какой-то момент Лоренц решил повторить симуляцию, запустив программу снова с теми же входными данными. Для этого он использовал число, рассчитанное компьютером и напечатанное им на середине работы. Он опять ввел его в компьютер и запустил программу, предполагая, что компьютер выдаст тот же результат, что и в первый раз. В конце концов, он использовал то же число, не так ли?

На самом деле нет. Этот компьютер мог рассчитывать числа с точностью до шести знаков после запятой, но на распечатке было число, округленное до трех знаков после запятой. Изначально Лоренц использовал число 0,506 127, а напечатано было 0,506 — именно это значение он ввел в программу во второй раз. Ученый предполагал, что такая крошечная разница между двумя числами (0,000 127) приведет лишь к небольшому отклонению от первого результата, как бы долго ни длилась симуляция. Однако все оказалось не так, и это стало сюрпризом. Лоренц обнаружил, что крошечное изменение иногда может иметь огромное влияние. Симуляция погоды — пример того, что мы теперь называем нелинейным поведением. Вот почему так сложно делать долгосрочные прогнозы, ведь мы не можем знать с бесконечной степенью точности все переменные, влияющие на погоду. То же самое было в примере с бильярдным столом, только в данном случае ситуация намного сложнее. Мы можем выяснить с достаточной степенью достоверности, что через несколько дней пойдет дождь, однако ни за что не узнаем, будет ли идти дождь в этот день спустя год.

Именно благодаря этому глубокому осознанию Лоренц ввел термин «эффект бабочки». Идея о том, что взмах крыла бабочки может иметь далеко идущие последствия, расходящиеся подобно кругам на воде, судя по всему, впервые появилась в рассказе Рэя Брэдбери «И грянул гром», написанном в 1952 году. Лоренц позаимствовал эту идею и популяризировал ее в виде ставшего известным высказывания о взмахе крыла бабочки, спустя месяцы вызвавшем ураган на другом конце света. Конечно, тут стоит прояснить, что это не означает, будто ураган начался из-за взмаха крыльев отдельно взятой бабочки. Скорее речь идет о том, что его вызвал совокупный эффект триллионов крошечных возмущений в атмосфере по всему миру, и если бы *любое из них* было другим или отсутствовало вообще, урагана могло бы и не быть.

Хаос

В быту словом «хаос» обозначают бесформенность, беспорядок и случайность (в том смысле, что вечеринка в честь дня рождения ребенка может проходить хаотично). В науке термин «хаос» имеет более специфическое значение. Он объединяет детерминизм и вероятности совершенно неожиданным образом. Как только вы поймете эту концепцию, она покажется полностью логичной и интуитивно понятной, но сам факт того, что это понимание было достигнуто нами сравнительно недавно, доказывает, насколько неожиданной была эта идея. Вот одно из определений хаотического поведения: если система действует циклически, повторяя одни и те же действия снова и снова, но изменения в ее поведении значительно зависят от изначальных условий, то она не будет на каждом витке

цикла испытывать одни и те же состояния, а *будет проявлять* случайное поведение, изменяя свой путь совершенно непредсказуемым образом.

Хаос как таковой не является теорией (хотя термин «теория хаоса» получил широкое распространение, и я планирую его использовать). Хаос можно назвать концепцией или феноменом, имеющим практически вездесущий характер и породившим новую область в науке — *нелинейную динамику*. Название это происходит от основного математического свойства хаотических систем, а именно: причина и следствие связаны между собой нелинейным и непропорциональным образом. Я имею в виду, что до того, как мы полностью разобрались в природе хаоса, считалось, что, поскольку следствие должно идти за причиной, простые причины всегда приводят к простым следствиям, а сложные — к сложным. Идея о том, что простая причина может привести к сложному следствию, была довольно неожиданной. Именно это математики имеют в виду под нелинейностью.

Теория хаоса гласит, что порядок и детерминизм могут породить то, что на поверку оказывается случайностью. Более того, согласно этой теории, наша Вселенная может быть детерминированной, подчиняться фундаментальным физическим законам и в то же время очень часто проявлять тенденцию к усложнению, беспорядочности и, что наиболее важно, непредсказуемости. Сегодня мы встречаемся с хаосом практически во всех областях науки. Пусть все началось с наших попыток понять погоду, но теперь мы обнаруживаем его в движении звезд в галактиках, в орбитах планет и комет нашей Солнечной системы, в том, как растет и снижается численность популяций диких животных, в работе обмена веществ внутри клеток, в биении наших сердец. Его можно увидеть в поведении субатомных

частиц, в работе механизмов, в турбулентных потоках жидкостей в трубах и электронов в электрических схемах. Однако проще всего увидеть хаос с помощью математики — в наших компьютерных симуляциях. Хотя моделировать хаотическое поведение с математической точки зрения довольно просто (для этого нужно снова и снова повторять простую математическую формулу), зачастую оно требует изрядно высокой скорости работы компьютера, чтобы выполнить эти простые шаги большое количество раз.

Подведем итоги. Теория хаоса показала: если оставить (на минутку) квантовую неопределенность, насколько нам известно, наша Вселенная полностью детерминирована, однако непредсказуема. Но все же эта непредсказуемость порождается не истинной случайностью: детерминированность природы Вселенной означает, что она следует совершенным и строго определенным правилам, часть которых мы раскрыли, а часть только предстоит узнать. Непредсказуемость возникает из-за невозможности самого нашего существа узнать (с бесконечной степенью точности) изначальные условия развития чего бы то ни было более сложного, чем элементарные системы. Во входные данные для расчетов всегда будет закрадываться крошечная ошибка — и это будет вызывать лавинообразный эффект, приводящий к ошибочному прогнозу.

У хаоса есть еще одна чудесная и, возможно, даже более важная сторона: повторяющееся применение одних и тех же простых правил, приводящее к хаотическому поведению, начиная с организованного регулярного движения, иногда приводит к появлению как примитивных и бесструктурных форм, так и прекрасных и сложных узоров, — так что мы можем получить порядок и сложность там, где их раньше

не было. Вы начинаете с бесструктурной массы, позволяете ей развиваться с течением времени и начинаете видеть спонтанное образование структуры и паттернов. Эта идея привела к появлению новых академических дисциплин, известных как эмерджентность и теория сложности, которые начинают играть ведущую роль во множестве разнообразных областей, от биологии до экономики и искусственного интеллекта.

Свобода воли

Что же все это говорит нам о свободе воли (и, следовательно, о парадоксе демона Лапласа)? В этой сфере остается еще много различных философских вопросов и проблем, далеких от решения. Все, что я могу сделать, — это поделиться с вами своим мнением физика-теоретика. Вы вольны не соглашаться со мной. Или не вольны?

У нас есть четыре возможных варианта свойств Вселенной, в которой мы живем.

- ✧ Детерминизм — это правда, поэтому все наши действия предсказуемы и у нас нет свободы воли, лишь иллюзия того, что мы делаем выбор.
- ✧ Детерминизм — это правда, но все же мы обладаем свободой воли.
- ✧ Детерминизм — это ложь, Вселенная построена на случайности, у нас есть свобода воли.
- ✧ Детерминизм — это ложь, но у нас все еще нет свободы воли, поскольку события происходят случайным образом, у нас над ними не больше власти, чем было бы, будь они предопределены.

Ученые, философы и богословы спорили о том, имеет человек свободу воли или нет, на протяжении тысяч лет. В этом разделе я собираюсь сосредоточить внимание на определенных аспектах самой природы свободы воли и ее связи с физикой. Разумеется, я не стану углубляться в реальность так называемой психофизиологической проблемы природы сознания или человеческой души.

Головной мозг человека состоит из сети, сплетенной из сотни миллиардов нейронов, соединенных между собой сотнями триллионов синаптических связей. С учетом всего, что мы знаем о нем на сегодня, мозг представляет собой замысловатую машину, исполняющую программы, подобные компьютерным, однако отличающуюся сложностью и взаимосвязанностью элементов, до которой современным компьютерам очень далеко. Все эти нейроны в конечном итоге состоят из атомов, подчиняющихся тем же законам физики, что и все остальное во Вселенной. Поэтому теоретически если бы мы могли узнать положение каждого атома в нашем мозге и что он делает в каждый заданный момент, если бы мы в полной мере понимали правила, определяющие, как атомы будут взаимодействовать и соединяться друг с другом, то мы смогли бы, *в принципе*, узнать состояние нашего мозга в любой момент в будущем. То есть, имея достаточно информации, я могу предсказать, о чем вы подумаете в следующий момент (разумеется, при условии, что вы не контактируете с внешним миром, иначе мне пришлось бы узнать абсолютно все и об этом тоже).

Следовательно, если бы не странные вероятностные правила квантового мира, управляющие поведением атомов (и в отсутствие какого-либо нефизического, духовного или сверхъестественного измерения у нашего сознания, о наличии которого у нас нет никаких данных), нам пришлось

бы признать, что мы также являемся частью ньютоновской механистической детерминированной Вселенной и все наши действия заранее предопределены. В сущности, мы бы не обладали свободой воли.

Так все же есть у нас свобода воли или нет? Несмотря на все, что мы сказали о детерминизме, я считаю, что есть. Но спасает ее не квантовая механика, как многие думают, а теория хаоса. Ведь то, что мы живем в детерминированной Вселенной, будущее которой зафиксировано, не имеет значения. Это будущее можно было бы увидеть, *только если бы* у нас была возможность взглянуть на пространство и время снаружи. Но для нас и нашего сознания, *вплетенного* в пространство-время, знание об этом будущем *недоступно*. Именно благодаря этой непредсказуемости наше будущее открыто. Для нас выбор, который мы делаем, — это реальный выбор, а вследствие эффекта бабочки крошечные изменения, привнесенные различными нашими решениями, могут привести к очень разным исходам и, следовательно, разным вариантам будущего.

Итак, благодаря теории хаоса мы никогда не сможем узнать свое будущее. Возможно, вы предпочтете считать, что будущее предопределено и наша свобода воли всего лишь иллюзия, но факт остается фактом — наши действия все еще определяют, какой из бесконечного числа вариантов будущего воплотится в жизнь.

Посмотрим на ситуацию глазами человека, наблюдающего вокруг себя детерминированный и все же непредсказуемый мир, но с учетом всей сложности нашего головного мозга и происходящих в нем процессов. Нельзя избежать непредсказуемости, говоря о работе такой сложной системы, как наш мозг, со всеми его мыслительными процессами, воспо-

минаниями, объединенными нейронными сетями, петлями и механизмами обратной связи. Именно благодаря этой сложности мы обладаем свободой воли.

Мы можем считать это настоящей свободой или просто иллюзией — в некотором смысле это не имеет значения. Я никогда не смогу предсказать, что вы скажете или сделаете в следующий момент (если вы действительно захотите сделать что-то неожиданное для меня), потому что я не способен обработать каждую модель, каждую нейронную связь вашего мозга, предвидеть каждое изменение в синаптических связях и воспроизвести взмах крыла каждой из этих триллионов бабочек, которые составляют ваше сознание (мне пришлось бы это сделать, чтобы рассчитать ваши мысли). Именно благодаря этому у вас есть свобода воли, несмотря на то что действия головного мозга с большой вероятностью полностью детерминированы (только если у квантовой механики не найдется более веских аргументов по этому поводу, чем те, которыми мы владеем сейчас).

Квантовый мир — наконец случайность?

Квантовая механика (теория субатомного мира) описывает законы природы, действующие в самых мелких масштабах, где все происходит совершенно не так, как в привычном для нас мире. Только в начале XX века стало понятно, что мы не можем использовать механику Ньютона для описания движения микроскопической частицы, например электрона.

Если мы знаем, где находится электрон, и прикладываем к нему определенную силу, скажем включив электрическое поле, то мы должны иметь возможность с уверенностью

и определенной степенью точности сказать, где он будет находиться секунду спустя. Но оказывается, что мы не можем сделать такой прогноз; причина этого, похоже, выходит за пределы неспособности узнать изначальные условия с достаточной степенью точности. Ньютоновские уравнения движения, управляющие поведением привычных для нас объектов, от монет до бильярдных шаров и планет, в квантовом мире бесполезны. Там им на смену приходит новый набор правил и математических зависимостей. Эти правила описывают микроскопический мир, который, вероятно, на самом деле действует по законам случайности. Должно показаться, что мы наконец нашли противоядие к фаталистическому детерминизму Вселенной, описанной Ньютоном и Эйнштейном, ведь именно здесь мы видим то, что называется индетерминизмом.

Как мы узнали из главы 2, атом может распасться, испустив при этом альфа-частицу. Однако мы не можем предсказать, в какой момент это произойдет. Согласно стандартной интерпретации квантовой механики, это не имеет никакого отношения к отсутствию у нас всей необходимой информации, как это было в предыдущих рассмотренных нами случаях. Оказывается, что мы *в принципе* не можем предсказать, когда произойдет радиоактивный распад атома, с какой бы точностью мы ни установили изначальные условия. В некотором смысле это происходит, потому что сам атом «не знает», в какой момент это может случиться. Такая неопределенность, похоже, является фундаментальной характеристикой самой природы на этом уровне организации материи, где объекты ведут себя «неустановливаемым» образом.

Разумеется, радиоактивный атом не ведет себя абсолютно случайным образом, поскольку большие скопления одина-

ковых атомов проявляют среднестатистический паттерн поведения. Время, за которое распадается ровно половина атомов в образце определенного химического элемента, называется периодом полураспада элемента. Имея достаточно большой образец, это значение можно установить весьма точно, подобно тому как, подбрасывая монетку очень много раз, в результате можно получить вероятность ее приземления орлом или решкой 50 на 50. Однако в случае монетки это вероятностное свойство исхода происходит из непредсказуемости изначальных условий, влияющих на детерминированный процесс, а в случае атомов квантовые вероятности являются частью самой их природы, и мы не сможем даже в теории получить более определенный результат.

Важный вопрос, который стоит теперь задать, звучит так: спасает ли нас этот квантовый индетерминизм от унылого детерминизма макромира и возвращает ли он нам свободу воли? Некоторые философы считают, что это так. По моему скромному мнению, они ошибаются. Есть две причины, почему я так думаю. Во-первых, в последние годы обнаружилось, что квантовая нечеткость и случайность очень быстро исчезают, когда речь идет о комплексных системах, состоящих из триллионов атомов. Когда мы приближаемся в масштабах к ньютоновскому миру людей и их мозгов, странные квантовые эффекты исключаются путем усреднения — и восстанавливается привычный детерминизм. Во-вторых, вполне возможно, что квантовая механика — это еще не все и что непредсказуемость такого процесса, как радиоактивный распад, на самом деле вызвана нашим невежеством. Может быть, нам не хватает более глубокого понимания природы, с помощью которого мы смогли бы наконец предсказать в точности момент

распада атома (пусть не на практике, но хотя бы теоретически), точно так же, как более полные знания обо всех силах, влияющих на подбрасываемую монетку, позволят нам предсказать исход этого действия. Если это так, нам понадобится выйти за пределы квантовой механики, чтобы найти ответ, или по меньшей мере разработать другую интерпретацию квантовых законов. Сам Эйнштейн придерживался такой точки зрения, и именно это он имел в виду, произнося свою знаменитую фразу «Бог не играет в кости». Эйнштейн не мог спокойно принять случайность квантового мира.

Хотя с тех пор было доказано, что эйнштейновская версия этого аргумента оказалась неверной, существует другой способ интерпретации квантовой теории, не конфликтующий со стандартной версией, согласно которому субатомный мир ведет себя полностью детерминированно. Он берет начало в работе физика Дэвида Бома и был широко известен на протяжении более 50 лет. Проблема заключается в том, что никому не удалось найти способ проверить, верна ли эта версия квантовой теории, и тем самым окончательно подтвердить или опровергнуть детерминизм Вселенной вплоть до субатомных масштабов.

Согласно Бому, непредсказуемость квантового мира происходит не из истинной случайности, но из существования информации, всегда остающейся скрытой от нас, без которой мы не можем сделать точных прогнозов. Квантовый мир непредсказуем не потому, что мы не можем достаточно далеко углубиться в него, и не из-за квантового эффекта бабочки и чувствительности к точности наших измерений, а скорее потому, что мы просто не способны изучать квантовый мир, не воздействуя на него каким-либо образом. Наблюдая за тем, как ведет себя электрон, мы неизбежно изменяем его

поведение, что делает наши прогнозы бесполезными. Это все равно, что попросить вас достать рукой монетку со дна стакана с водой, не намочив пальцев. В бомовской версии квантовой теории каждая частица во Вселенной имеет поле квантовой силы, контролирующее ее действия. Оценивая свойства частицы, мы нарушаем это поле и тем самым изменяем поведение частицы. Мы все еще не знаем, верно ли такое описание квантового мира; возможно, что никогда и не узнаем.

Подведем итоги

Мы ушли довольно далеко от самой задачи демона Лапласа. Хотя парадокс, описанный в начале главы, получилось сравнительно легко решить, он привел нас к некоторым восхитительным вопросам, касающимся природы судьбы и свободы воли. Похоже, что мы никогда не сможем узнать свое будущее не потому, что оно случайно, а потому, что оно непредсказуемо, несмотря на то что систематически следует строго определенным правилам. Этой непредсказуемости достаточно, чтобы предоставить некую видимость свободы выбора. Квантовая механика, хотя и ограничена мельчайшими масштабами, потенциально может вернуть нам истинную случайность, но даже это еще остается под вопросом.

Что касается работы человеческого мозга, никто не может сказать наверняка, когда произойдет следующий прорыв в его изучении. Может даже оказаться, что вероятностная природа квантового мира непосредственно влияет на макромир, в частности на процессы внутри живых клеток, и головной мозг. Пусть мы и разрешили парадокс демона Лапласа, но на все эти вопросы так и не смогли найти ответов.

Глава 9

Парадокс кота Шрёдингера

*Кот в ящике и жив и мертв,
пока мы не заглянем внутрь*

К 1935 году один из основателей квантовой механики австрийский гений Эрвин Шрёдингер был уже сыт по горло странными трактовками связанных с ней математических вычислений. После длительных дискуссий с другими физиками, в том числе с Альбертом Эйнштейном, он предложил один из наиболее известных мысленных экспериментов в истории науки. Он написал длинную статью «Текущая ситуация в квантовой механике» и опубликовал ее в ведущем немецком научном журнале. С тех пор она стала известна как статья о коте Шрёдингера, и просто невероятно, насколько много людей (в том числе специалисты в области квантовой физики) запутались в объяснениях, стремясь подчеркнуть или же разъяснить предполагаемый парадокс, описанный Шрёдингером. За прошедшие годы было пред-

ложено множество фантастических и экзотических решений задачи — от отправки сообщений назад во времени до изменения реальности силой сознания.

Шрёдингер задался вопросом, что случится, если мы закроем в ящике кота вместе со счетчиком Гейгера и небольшим количеством радиоактивного вещества. Настолько маленьким, что с вероятностью 50 % через час сможет распасться всего один его атом, испустив при этом субатомную альфа-частицу. Если это случится, сработает счетчик Гейгера и его активация запустит механизм, разбивающий молотком крошечную ампулу с синильной кислотой, которая, попав в ящик, тут же убьет кота (рис. 9.1). Надеюсь, конечно же, нет нужды объяснять, что в реальности такой эксперимент никогда не проводился. Именно поэтому он называется мысленным экспериментом.

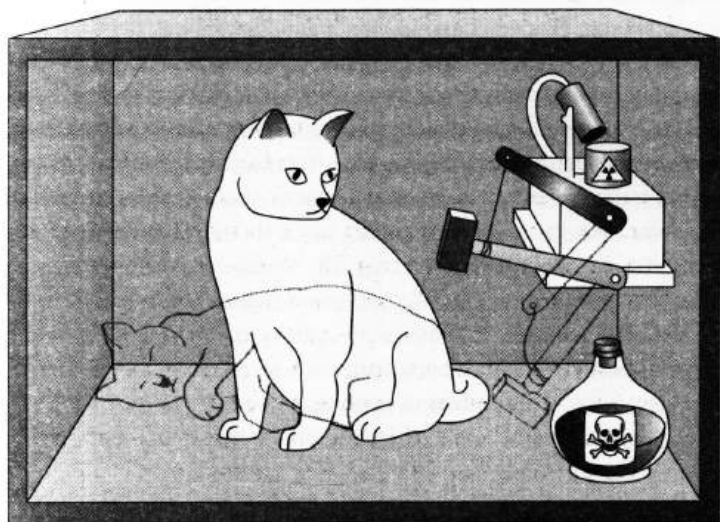


Рис. 9.1. Кот Шрёдингера

Как мы выяснили в предыдущей главе, момент распада радиоактивного атома относится к квантовым событиям, которые даже теоретически нельзя заранее предсказать. Согласно стандартной интерпретации квантовой механики, которой мы по большей части обязаны двум другим ее отцам-основателям — Нильсу Бору и Вернеру Гейзенбергу, причина непредсказуемости заключается не в том, что мы не располагаем информацией, необходимой для прогноза, а в том, что на квантовом уровне сама природа не знает, когда произойдет событие. Именно такие случайные события, как считают многие, спасают нас от ньютоновского детерминизма (именно об этом мы говорили в предыдущей главе). Все, что мы можем сказать: имеется вероятность того, что спустя некоторое время атом распадется (это время зависит от периода полураспада химического элемента). В тот момент, когда мы закрываем крышку ящика, мы знаем, что ни один атом еще не распался. После этого мы не только не знаем, распался ли атом, мы буквально вынуждены описывать каждый атом радиоактивного материала в ящике, как если бы он находился сразу в двух состояниях: распавшемся и нераспавшемся, при этом вероятность первого состояния со временем повышается, а второго — падает. Я должен подчеркнуть, что речь идет не просто о нашем неведении из-за невозможности увидеть, что происходит в ящике. Такое положение вещей навязывают нам механизмы, действующие в квантовом мире: поведение атомов и других объектов микроскопического мира можно объяснить только тем, что они способны существовать в этом призрачном промежуточном состоянии. Если бы атомы не вели себя подобным образом, мы просто не смогли бы разобраться, что к чему в нашем мире.

В природе существует множество феноменов, которые можно объяснить только в том случае, если атомы действительно

ведут себя подобным образом. К примеру, чтобы понять, почему светит Солнце, мы должны описать процессы термоядерного синтеза, происходящие в нем, через призму этих странных квантовых эффектов. Общеизвестные законы физики, применимые к привычному для нас макромиру, не способны объяснить, как ядра атомов сливаются друг с другом, высвобождая при этом солнечный свет и тепло, без которых мы не смогли бы существовать на Земле. Если бы ядра атомов не подчинялись законам квантовой физики, они не смогли бы приблизиться один к одному настолько, чтобы соединиться, поскольку их положительные электрические заряды создают силовые поля, отталкивающие их друг от друга. Только благодаря превращению в эти туманные, расфокусированные квантовые сущности им внезапно удается оказаться в одном и том же месте по одну сторону этого силового барьера.

Шрёдингер, признававший эту странность квантового мира, утверждал, что, поскольку кот также состоит из атомов, каждый из которых начинает подчиняться законам квантовой механики, как только его судьба переплетается с судьбой радиоактивного атома (как это происходит внутри ящика), то его также следует описывать через призму тех же самых квантовых законов. Если атом не распался — кот жив, если распался — мертв. Следовательно, если атом находится одновременно в обоих состояниях, то кот также должен находиться сразу в двух состояниях: «живой» и «кот». Это значит, что он не будет по-настоящему ни жив, ни мертв, находясь в размытом, нефизическом, промежуточном состоянии и обретая определенность только в тот момент, когда мы открываем ящик. Именно об этом говорит нам стандартная интерпретация квантовой механики, и это выглядит бессмыслицей. В конце концов, мы

так и не увидим кота в этом мертво-живом состоянии, однако квантовая физика сообщает нам, что именно так мы должны описывать состояние кота до того, как взглянем на него.

Как бы бессмысленно все это ни выглядело, не сомневайтесь, эта фантастическая идея представляет собой не просто безумное умозаключение теоретических физиков, слишком много времени пробывших наедине со своими уравнениями. Это серьезный прогноз, полученный на основании одной из наиболее мощных и надежных научных теорий.

Надеюсь, вы, конечно же, станете утверждать, что кот должен быть *либо* живым, *либо* мертвым и то, что мы откроем ящик, никак не может повлиять на исход. Ведь все дело только в том, что нам ничего не известно о том, что уже случилось (или еще не случилось), не так ли? Что ж, именно этот момент Шрёдингер хотел подчеркнуть. Несмотря на то что он сам внес большой вклад в новую теорию (самое главное уравнение квантовой физики носит его имя), Шрёдингер был недоволен некоторыми из ее аспектов и в 1920-е годы даже имел несколько интеллектуальных стычек с Бором и Гейзенбергом по этому поводу.

Как тщательно ни объясняй квантовую механику нефизикам, она все равно будет казаться непонятной и даже в чем-то надуманной. Но факт остается фактом: законы и уравнения, описывающие поведение объектов квантового мира, четко определены и недвусмысленны как с логической, так и с математической точки зрения. Хотя специалисты в квантовой физике сами зачастую чувствуют себя неуютно, осознавая, как абстрактные символы их уравнений соотносятся с реальным миром (оказалось, что мощная математическая база

квантовой механики слишком точно и успешно описывает наблюдаемые явления, чтобы у нас остались какие-то сомнения в том, что она отражает основополагающие истины о нашем мире). Так сможем ли мы разрешить парадокс кота Шрёдингера, держа в голове квантовую механику со всеми ее странностями? Посмотрим, удастся ли нам разгадать и эту загадку тоже. В конце концов, не могли же мы зайти так далеко, победив могучих демонов на своем пути, чтобы в итоге спастись перед котиком.

Эрвин Шрёдингер

В период с 1925 по 1927 год в науке произошла революция, подобной которой мир не видел ни до ни после. Разумеется, в истории науки случались великие моменты, а прорывы, совершенные Коперником, Галилеем, Ньютоном, Дарвином, Эйнштейном, Уотсоном и Криком, в корне изменили наше понимание мира. Но я бы сказал, что ни одно открытие этих величайших гениев не произвело такого фурора в науке, как квантовая механика. Эта научная область образовалась всего за несколько лет и своим появлением изменила наши представления о реальности навсегда.

Позвольте мне коротко описать положение дел в физике в начале 1920-х годов. К тому моменту уже было известно, что вся материя состоит из атомов, и ученые имели приблизительное представление о том, как выглядят эти атомы изнутри и из чего они состоят. Благодаря работам Эйнштейна стало известно, что свет можно заставить действовать как поток частиц или как волну, распространяющуюся в пространстве, в зависимости от того, какой эксперимент вы ставите и какое свойство света изучаете. Хотя само по себе

это было странно, но появлялось все больше свидетельств, что частицы материи, например электроны, также способны на такое противоречивое поведение.

В 1916 году Нильс Бор с триумфом вернулся в Копенгаген из Манчестера, где помогал Эрнесту Резерфорду разрабатывать теоретическую модель, объяснявшую вращение электронов внутри атомов. В течение пары лет он организовал в Копенгагене новый институт при финансовой поддержке пивоваренной компании «Карлсберг». Затем, имея в активе Нобелевскую премию по физике за 1922 год, он начал собирать вокруг себя научных гениев своего времени. Самым знаменитым из них был немецкий физик Вернер Гейзенберг. Летом 1925 года, восстанавливая силы после приступа сенной лихорадки на немецком острове Гельголанд, Гейзенберг совершил великий прорыв в математическом описании вселенной атомов. Но это были странные математические выражения, а новые данные об атомах, полученные с их помощью, оказались еще более странными. К примеру, Гейзенберг утверждал, что мы не только не можем точно сказать, где находится электрон в атоме (если не определяем в этот самый момент его местоположение), но и сам электрон не занимает определенной точки в пространстве — каким-то непостижимым образом он размыт в пространстве вокруг ядра.

Гейзенберг был вынужден заключить, что вселенная атомов представляет собой призрачное полуреальное место, принимающее определенную форму только в тот момент, когда мы направляем на него свой измерительный прибор (и даже тогда с помощью этого прибора мы можем узнать только те характеристики, для определения которых он предназначен). Итак, не вдаваясь глубоко в научные подробности (несмотря на то что прибор, предназначенный

для определения местоположения электрона, действительно установит его положение, а другой прибор, измеряющий его скорость, также даст ответ), невозможно поставить эксперимент, в ходе которого мы одновременно узнаем, где находится электрон и как быстро он движется. Эта идея воплощена в знаменитом принципе неопределенности Гейзенберга и до сих пор является одной из важнейших концепций в науке.

В январе 1926 года (примерно в то же время, когда Гейзенберг занимался разработкой этих идей) Эрвин Шрёдингер представил работу, в которой изложил альтернативный математический подход, описывающий атом по-другому. Его теория атома предполагала (в отличие от версии, утверждающей, что положение вращающегося электрона неопределенно и непознаваемо), что электрон подобен волне энергии, окружающей атомное ядро. Электрон не имеет определенного положения, потому что на самом деле это не частица, а волна. Шрёдингер хотел провести различие между расплывчатой картиной, изображающей электрон туманным и нечетким, и четко сфокусированной, представляющей электрон в виде облака или скопления тумана. В обоих случаях мы не можем точно определить, где находится электрон, но Шрёдингер предпочитал думать, что электрон «действительно» рассредоточен (пока мы не посмотрим на него). Его версия теории атома стала известна под названием волновой механики, а его теперь ставшее знаменитым уравнение описывает, как ведут себя эти волны и как изменяются с течением времени (в полном соответствии с принципами детерминизма) (рис. 9.2).

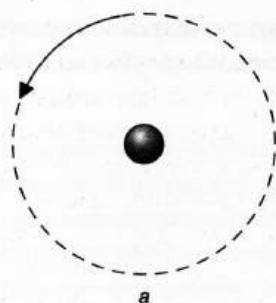
Сегодня мы научились принимать оба этих способа представления квантового мира: абстрактный математический подход Гейзенберга и волновую интерпретацию Шрёдингера.

Оба подхода изучают студенты, оба подхода работают хорошо, а физики приспособились легко переключаться между ними в зависимости от текущей задачи. Дело в том, что на основании двух этих подходов можно сделать одни и те же прогнозы (и оба они полностью согласуются с данными экспериментов). Другие пионеры квантовой физики — Вольфганг Паули и Поль Дирак — в конце 1920-х годов доказали, что оба подхода с точки зрения математики полностью равнозначны, поэтому какой из них использовать для описания конкретной характеристики атомов или их компонентов — исключительно вопрос удобства. Можно считать, что это немного похоже на описание одной и той же вещи на двух разных языках.

Итак, хотя оказалось, что квантовая механика как математическая теория успешно описывает структуру микромира атомов и всех остальных кирпичиков материи (от электронов до кварков и нейтрино), ее все еще сопровождает ряд нерешенных задач. Они имеют отношение как к нашей трактовке результатов вычислений, так и к тому, каким образом квантовый мир совершает переход к масштабу знакомого нам мира крупных объектов (макромира, в котором мы живем). Именно эту вторую проблему подчеркнул Шрёдингер в своем парадоксе.

Квантовая суперпозиция

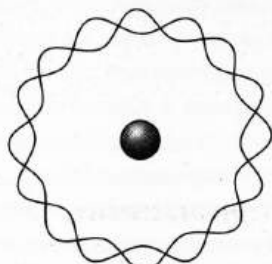
Впрочем, в этой истории не хватает одного важного логического звена. Я понимаю, что предложил вам поразмышлять о котах, состоящих из триллионов атомов, живых и мертвых одновременно, ожидая, что вы поверите в то, что отдельные атомы могут одновременно находиться в двух состояниях, просто потому, что квантовый мир «странный». Поэтому,



а



б



в

Рис. 9.2. Три модели атома водорода

с единственным электроном, вращающимся вокруг ядра:

а — согласно Эрнесту Резерфорду (1911); б — согласно Вернеру Гейзенбергу (1925); в — согласно Эрвину Шрёдингеру (1926)

вероятно, будет хорошей идеей объяснить вам, почему физики так уверены в том, что атомы действительно ведут себя подобным образом.

Свойство квантовых объектов, позволяющее им делать сразу несколько дел и быть в двух и более местах одновременно, называется *квантовой суперпозицией*, и оно не настолько необычно, как вы думаете. Суперпозиция вовсе не ограничивается квантовой механикой, это общее свойство всех волн. Лучше всего это можно увидеть на примере волн на воде. Представьте, что вы наблюдаете за олимпийским прыгуном в воду. В момент его погружения вы видите, как на этом месте начинают расходиться круги, доходящие до бортиков бассейна. Совсем по-другому выглядит вода в бассейне, полном людей. Вследствие сочетанного воздействия множества раздражителей поверхность воды теперь движется турбулентно. Этот процесс сложения волн друг с другом называется суперпозицией.

Наложение множества волн друг на друга разобрать довольно сложно, проще рассмотреть суперпозицию всего двух волн. Представьте, что вы одновременно бросаете в пруд два камешка: один левой рукой, другой — правой. В месте падения камешка в воду появятся круги, которые начнут распространяться и наслаиваться на такие же круги, вызванные другим камешком. Если сделать мгновенный снимок этой суперпозиции, можно увидеть сложный паттерн, включающий в отдельных местах два противоположных явления: там будут области, где объединенные гребни волн образуют большую волну (это называется конструктивной интерференцией), и области, где гребень одной волны полностью погашает подошву другой волны, временно делая этот участок водной поверхности гладким, как если бы по нему не проходило никаких волн (это на-

зывается деструктивной интерференцией). Запомните эту мысль: два возмущения в суперпозиции могут полностью нивелировать друг друга.

Теперь давайте рассмотрим, как аналогичный процесс проходит в квантовом мире. Устройства, известные как интерферометры (с одним из них мы уже встречались в главе 5, когда говорили о движении света сквозь пространство), позволяют сложить две волны, показывая, в каких местах они накладываются конструктивно, а в каких — деструктивно. Интерферометр, воспроизводящий некоторый сигнал, доступный нашему наблюдению, в момент, когда в него попадает единичная волна, можно настроить таким образом, что, когда в него войдет вторая волна, произойдет ее деструктивная интерференция с первой волной — и сигнал исчезнет. Это будет надежным свидетельством того, что внутри интерферометра проявились волноподобные свойства.

Перейдем к действительно интересной части. Некоторые разновидности интерферометров могут определять субатомные частицы, например электроны. Эти частицы можно запустить в устройство, разделяющее их вероятную траекторию на две части, — и они пролетят двумя возможными путями, снова объединившись в конце. Если настроить данное устройство таким образом, чтобы оно воспринимало свет, совершенно ясно, каков будет результат: луч света разделится на две части с помощью так называемого полупросеребрянного зеркала (полупрозрачного куска стекла, пропускающего половину света, который пойдет одним путем, и отражающего вторую часть по другой траектории). В результате мы получаем из одного первоначального луча света два. Эти два луча (или две световые волны) проходят через устройство по двум отдельным траекториям, а затем вновь объединяются, интерферируя друг с другом определенным

образом, который зависит от точной длины пути каждого из них. Если оба пути в точности одинаковы по длине, лучи света совпадут друг с другом (тогда мы говорим, что они соединяются в фазе), но если они прибудут не в фазе, в некоторых местах мы увидим деструктивную интерференцию (как если бы там не было света вовсе). Важно помнить, что мы получим такой результат только в тех местах, где две волны соединяются.

А теперь действительно шокирующее свойство квантового мира. Если пропустить электрон через аналогичное устройство таким образом, что ему придется выбирать между двумя путями (возможно, его как-то оттолкнут от одного из направлений с помощью магнита или провода под напряжением), то вместо того, чтобы поступить, как подсказывает здравый смысл (то есть пойти *либо* одним путем, *либо* вторым), он поведет себя в точности, как волна света (раздвоится и *пройдет обоими путями сразу*). Откуда мы знаем, что это происходит? Дело в том, что результат, который мы получим на выходе, будет в точности таким, как если бы электрон вел себя как две волны, проходящие сквозь устройство независимо друг от друга.

С самого рождения квантовой механики физики пытаются разобраться, как такие частицы, как электроны, способны делать это. Похоже, им действительно под силу следовать одновременно обоими путями. Не делай они этого, мы бы не увидели признаков их волноподобного поведения, конструктивной и деструктивной интерференции. Оказывается, что согласно предсказаниям квантовой теории именно это и должно происходить: когда мы не смотрим на квантовый объект, мы должны описывать его как волну. Но как только мы начинаем наблюдать за ним (например, устанавливая какой-либо детектор на одном из путей в интерферо-

метре), то мы либо наблюдаем электрон, летящий этим путем, либо не наблюдаем (подразумевается, что он выбрал другой путь). Итак, пока мы следим за электроном во время его движения, то видим только то, что он следует одним из двух путей. Однако, отслеживая его перемещения, мы неминуемо вмешиваемся в его квантовое поведение — и волноподобное свойство интерференции полностью исчезает (это неудивительно, поскольку теперь электрон уже не проходит двумя путями одновременно).

Мораль такова: в квантовом мире объекты ведут себя по-разному в зависимости от того, наблюдаем мы за ними или нет. Пока мы не смотрим, они могут находиться в состоянии суперпозиции, делая два и более дела одновременно. Но как только мы обращаем на них взгляд, это каким-то образом вынуждает их немедленно сделать выбор и вести себя разумно. Радиоактивный атом в ящике с котом находится в суперпозиции двух квантовых состояний: одновременно распавшийся и не распавшийся. Причина не в нашем неведении, вынуждающем допустить возможность того, что он может быть в любом из двух состояний, а в том, что атом на самом деле пребывает в призрачном состоянии, сочетающем оба варианта.

Проблема измерений

Хорошо, что у нас есть математические уравнения, описывающие поведение атомов, но любая сколько-нибудь уважаемая научная теория хороша лишь настолько, насколько хороши ее прогнозы относительно событий реального мира и результатов всех экспериментов, проводимых учеными для проверки этих прогнозов. Квантовая механика описывает, что происходит в мире атомов, когда

мы не смотрим на него (это несколько абстрактное математическое описание), но все же она поразительно точно предсказывает, какие результаты мы получим, если решим измерить какие-либо показатели. Однако сам процесс перехода от описания реальности, в которой мы не наблюдаем за квантовым миром, к описанию реальности, отображаемой нашими измерительными приборами, все еще представляет некоторую тайну. Она известна как проблема измерений и формулируется очень просто: каким образом атомы и подобные им объекты переходят от состояния крошечных частиц, занимающих определенное место, к состоянию, в котором они распространяются в пространстве множеством волновых версий самих себя, и обратно к нормальному поведению крошечных частиц, когда мы решаем понаблюдать за ними?

При всей своей успешности квантовая механика ничего не говорит нам о том, как сделать этот шаг от уравнений, описывающих, как электрон, скажем, движется внутри атома, к тому, что мы видим, когда проводим конкретное измерение свойств этого электрона. Поэтому отцы-основатели квантовой механики разработали свод специальных правил в дополнение к квантовой теории. Они стали известны как квантовые постулаты и содержат нечто вроде руководства по переводу математических прогнозов, заложенных в уравнениях квантовой механики, в реальные свойства, доступные наблюдению (например, местоположение электрона в любой заданный момент времени).

Что касается собственно процесса, когда электрон под нашим взглядом мгновенно переходит из состояния «и там и тут» в состояние «или там, или тут», никто на самом деле не знает, как это происходит. Большинство физиков удовлетворяются прагматическим подходом, предложенным

самим Нильсом Бором: это просто происходит. Он назвал это явление необратимыми усилительными эффектами, и трудно поверить, но для большинства практикующих специалистов в области квантовой физики XX века этого было достаточно. Бор провел произвольную границу между квантовым миром, где допустимы странные вещи, и нашим куда более масштабным макромиром, где все происходит в рамках разумного. Измерительный прибор, направленный на электрон, неизбежно является частью нашего макромира. Но как, когда и почему происходит это измерение, объяснено не было. В этом заключалась проблема Шрёдингера: где проходит линия разграничения между микромиром и макромиром? Предположительно, она должна находиться где-то в промежутке между атомами и котами, но, коли так, как мы отделим одно от другого, если сами коты представляют собой не более чем скопления атомов? Иными словами, любой измерительный прибор, будь то счетчик Гейгера, интерферометр, сложная машина с множеством рычагов и циферблатов или даже кот, в конечном итоге тоже состоит из атомов. Так где же мы должны провести эту границу, отделяющую квантовое царство, подчиняющееся квантовым законам, от макромира измерительных приборов? А если подумать, что вообще делает измерительный прибор измерительным прибором?

В привычном для нас мире крупных объектов мы принимаем как должное идею о том, что объект действительно является тем, чем он нам кажется. Но, чтобы мы смогли увидеть что-либо, свет от этого объекта должен дойти до наших глаз. Однако само «подсвечивание» объекта, который мы желаем увидеть, потревожит его и внесет в него микроскопические изменения, вызванные столкновением с лучом света и его отражением. Когда мы смотрим на

крупный объект (машину, стул, человека) или на живую клетку под микроскопом, столкновение частиц света (фотонов) с наблюдаемым объектом не произведет никакого заметного эффекта. Но когда мы имеем дело с квантовыми объектами, которые по масштабам сами сопоставимы с фотонами, ситуация меняется. В конце концов, каждое действие вызывает равноценное противодействие. Чтобы «увидеть» электрон, мы должны столкнуть его с фотоном. Но тем самым мы сбиваем электрон с его первоначального пути.

Другими словами, чтобы узнать что-то о системе, мы должны ее измерить, но при этом мы зачастую неизбежно изменяем ее (следовательно, не видим ее истинную природу). Я описал эту идею в упрощенном виде, который не в полной мере отдает должное всем тонкостям квантовых измерений, но, надеюсь, вы смогли получить представление.

Давайте сделаем небольшую передышку и быстро повторим, что узнали. Мы выяснили, что квантовый мир коварен и нестабилен. Он не просто способен вытворять вещи, которые кажутся невозможными в нашем привычном мире, но имеет наглость не давать нам поймать себя с поличным. Открывая ящик Шрёдингера, мы в любом случае увидим живого либо мертвого кота, но никак не суперпозицию одного с другим. Итак, похоже, мы ничуть не приблизились к решению этого парадокса.

Отчаянные попытки

Как же физики отреагировали на работу Шрёдингера? Бор и Гейзенберг не утверждали, что кот одновременно и жив и мертв, пока ящик не откроется. Но вместо того, чтобы предложить что-то похожее на рациональное решение

этого парадокса, они увильнули, выдвинув ловкий аргумент. Они настаивали, что нельзя ничего сказать о состоянии кота или ясно представить себе, что происходит в ящике, пока мы его не откроем. Некорректно спрашивать, будет ли кот на самом деле одновременно живым и мертвым.

Ученые аргументировали свою точку зрения тем, что все то время, пока ящик закрыт, мы просто не можем ничего сказать о реальном состоянии кота. Все, чем мы можем руководствоваться, — предсказания уравнений квантовой механики о том, что мы увидим, *когда откроем ящик*. Таким образом, квантовая механика не только не поможет нам узнать, что происходит внутри ящика, но даже не подскажет, что мы обнаружим, когда откроем его. Все, что она может нам дать, — это вероятность обнаружения кота мертвым или живым. Если бы такой эксперимент проводили в реальности, повторяя его множество раз (и принося в жертву немало котиков), стало бы ясно, что эти предсказания верны (точно так же, как нам понадобится подбросить монетку в воздух множество раз, чтобы подтвердить 50%-ную вероятность выпадения орла или решки). Эти квантовые вероятности необычайно точны, однако мы сможем рассчитать их, только если будем настаивать, что атом находится в суперпозиции двух состояний.

В течение нескольких лет многие физики пытались если не найти исчерпывающее объяснение странностям квантового мира, то хотя бы отыскать способ понять, как ему удастся делать то, что он делает. Некоторые предположения, поступившие в ответ на головоломку кота Шрёдингера, были экзотическими. Одна из этих идей, известная как транзакционная интерпретация, содержит не только установку мгновенной связи в пространстве, что достаточно

серьезно, но и возможность установки связи между временами. Согласно этой точке зрения при открытии ящика Шрёдингера в прошлое отправляется сигнал, сообщающий радиоактивному атому, что он должен «решить», распасться ему или нет.

Одно время даже было модно говорить о том, что для измерений требуется человеческое сознание, затягивающее квантовый мир в макромир (потому что в сознании есть нечто уникальное, вызывающее к жизни «необратимые усилительные эффекты» и заставляющее квантовую суперпозицию исчезнуть). В конце концов, раз никто не знает, где пролегает граница между квантовым царством суперпозиций и макроцарством определенных исходов при проведении измерений, возможно, нам просто следует провести границу там, где придется. Поскольку измерительные приборы (датчик, экран, кот) — это всего лишь наборы атомов и они должны вести себя так же, как и любая другая квантовая система, пусть и очень большая, то нам нужно отказаться от квантового описания только в тот момент, когда оно фиксируется нашим сознанием.

Отделение измеряемого от измеряющего на уровне человеческого сознания равноценно тому, что философы называют солипсизмом. Его идея заключается в том, что наблюдатель находится в центре Вселенной, а все остальное — всего лишь плод его воображения. К счастью, эту точку зрения большинство людей отбросило много лет назад. Но что восхищает (а зачастую и обескураживает), так это то, что до сих пор многие, не имеющие отношения к физике, заявляют, что, поскольку мы не понимаем до конца квантовую механику и природу сознания, эти две области должны быть связаны между собой каким-то магическим образом. Такой разновидности спекуляции, хоть

она и доставляет кому-то удовольствие, нет места в серьезной науке (пока что).

Так что же все-таки насчет кота? Разве он не обладает сознанием? Не может ли он «провести наблюдение», сидя в ящике? Есть очевидный способ проверить эту мысль. Что, если вместо кота мы посадим в ящик добровольца и, возможно, вместо ядовитого газа применим усыпляющий (на чем, полагаю, мы могли бы настаивать и в случае с котом)? Что теперь случится, когда мы откроем ящик? Разумеется, мы не обнаружим добровольца одновременно в сознании и без сознания, не сможем мы и убедить его, что, пока мы его не выпустили, он находился в состоянии суперпозиции. Если он будет в сознании, то сообщит нам, что, помимо ощущения легкой нервозности, он все время чувствовал себя хорошо. А если мы обнаружим его без сознания, то, придя в чувство, он сможет рассказать нам, как спустя 10 минут после закрытия ящика услышал звук сработавшего устройства и тут же почувствовал головокружение. Следующее, что он помнит, — окружающие приводят его в чувство нашатырным спиртом.

Следовательно, в то время, как отдельный атом может существовать в квантовой суперпозиции, доброволец определенно на это не способен. А поскольку ничего особенного в добровольце быть не может (должен ли он иметь степень доктора наук или носить лабораторный халат, чтобы его сознание соответствовало требованиям, выдвигаемым для измерительного прибора?), мы не сможем провести никакой другой рационально обоснованной границы между ним и котом. Таким образом, мы вынуждены заключить, что нет причин считать кота одновременно живым и мертвым до того, как мы откроем ящик, хотя бы потому, что сам кот будет знать, в каком состоянии он на самом деле находится.

Потеря квантовых свойств

Если кот не может находиться в суперпозиции разных состояний, то предположительно линия, отделяющая квантовый микромир от нашего макромира, находится ближе к квантовому концу шкалы. Давайте еще раз разберемся, что мы имеем в виду под словом «измерение».

Рассмотрим, что происходит с атомом урана, который находится внутри пласта породы, скрытого глубоко в недрах земли. Крайне редко такие атомы могут спонтанно распадаться, разделяясь на два фрагмента, разлетающиеся с высвобождением большого количества энергии. Именно такая энергия используется в ядерных реакторах, дающих нам тепло и электричество. Эти фрагменты ядра атома урана (каждый размером примерно с его половину) появляются рядом, но затем разлетаются в произвольных направлениях. Квантовая механика гласит: до того как произвести измерение, мы должны считать, что оба фрагмента разлетелись во всех направлениях сразу. Это намного проще представить, если думать о них не как о частицах, но как о волнах (аналогично кругам на воде, расходящимся от камешка, брошенного в пруд). Но мы знаем, что эти осколки оставляют крошечные следы в камне и в некоторых породах их можно различить под микроскопом. На исследовании этих следов (длиной всего в тысячную долю миллиметра каждый) основан метод радиоизотопного датирования пластов породы.

Итак, суть заключается вот в чем: поскольку эти следы появились в квантовом мире, то пока мы не измерим их, нам придется описывать их одновременно как существующие, если ядро урана распалось, и как несуществующие, если этого не произошло. Кроме того, в случае, если ядро

все же распалось, мы должны описывать их, как если бы они пролегли во всех направлениях сразу. Но что же тогда представляет собой измерение? Находится ли камень в состоянии неопределенности одновременно с вытравленными и не вытравленными в нем следами частиц, пока мы не рассмотрим его под микроскопом? Разумеется, нет. Следы либо есть, либо нет независимо от того, будем ли мы анализировать породу сейчас, через 100 лет или же никогда.

В квантовом мире измерения должны производиться все время и иметь постоянных наблюдателей независимо от наличия в их гардеробе лабораторных халатов. Правильно будет определить измерение как процесс, происходящий, когда было зафиксировано «явление» (или «феномен») (в том смысле, что оно оставило какой-то след, который мы при желании сможем обнаружить позднее).

Это может показаться настолько очевидным, что можно простить вам удивление, вызванное тем фактом, что специалисты в области квантовой физики оказались настолько глупыми, чтобы вообще рассматривать какие-то иные варианты. Но повторяюсь: некоторые предсказания квантовой механики можно назвать как угодно, но только не рациональными. Что нам требуется, так это более четкое представление, как фиксируются события в квантовом мире, ведь именно в этот момент происходит потеря «квантовой странности» (движения в двух направлениях одновременно или одновременного действия и его отсутствия).

В 1980-е и 1990-е годы физики, похоже, начали понимать, что творится в квантовом мире. Они рассмотрели, что происходит, когда изолированная квантовая система, например отдельный атом, выходит из блаженного состояния

суперпозиции и объединяется с макроскопическим измерительным прибором, которым может считаться даже окружающая среда, например камень. Квантовая механика требует, чтобы множество триллионов атомов, составляющих измерительный прибор/камень, также существовали в состоянии суперпозиции. Однако эти хрупкие квантовые эффекты слишком сложны, чтобы такие крупные макроскопические устройства смогли их поддерживать, и они улетучиваются подобно теплу, покидающему горячее тело. Этот процесс известен как декогеренция, и в наше время он стал предметом множества исследований и споров. Декогеренцию можно представить так: хрупкая квантовая суперпозиция безвозвратно теряется среди колоссального числа других возможных суперпозиций, возникающих из-за различных потенциальных комбинаций взаимодействий между всеми атомами в макроскопической системе. Возврат к изначальной суперпозиции будет чем-то вроде попытки перемешать колоду карт, вернув ее тем самым к упорядоченному состоянию, только намного сложнее.

Многие физики сегодня считают декогеренцию реальным физическим процессом, который постоянно идет повсюду во Вселенной. Декогеренция происходит каждый раз, когда квантовая система перестает быть изолированной от окружающей среды (представленной чем угодно — от счетчика Гейгера до куска породы или даже молекул воздуха вокруг; без сознательного наблюдателя определенно можно обойтись). Если связь с окружающей средой достаточно прочна, изначальная хрупкая суперпозиция быстро теряется. Декогеренция представляет собой один из самых быстрых и эффективных процессов в физике вообще. Именно эта удивительная эффективность является причиной того, что ученые так долго не могли ее открыть. Только сейчас физики на-

чинают разбираться, как исследовать и контролировать данный процесс.

Хотя ученые еще не до конца понимают декогеренцию, по крайней мере она позволяет нам разобраться в нашем парадоксе. Причина, по которой мы не увидим кота Шрёдингера одновременно живым и мертвым, заключается в том, что задолго до того, как мы откроем ящик, в счетчике Гейгера произошла декогеренция. Благодаря своей способности регистрировать, распался ли атом, счетчик Гейгера «вынуждает» его определиться со своим состоянием. Итак, в течение определенного периода времени атом либо распадется, либо нет и счетчик Гейгера либо зарегистрирует это явление, вызвав тем самым цепочку событий, приводящую к смерти кота, либо нет. Как только мы покидаем квантовый мир суперпозиции, пути назад нет и мы остаемся наедине с простой статистической вероятностью.

Двое ученых из Кембриджа — Роджер Карпентер и Эндрю Андерсон — провели изящный эксперимент и описали его результаты в статье, опубликованной в 2006 году. Эксперимент подтвердил, что коллапс суперпозиции и потеря странных квантовых свойств действительно происходят на уровне счетчика Гейгера. Опыт не привлек особого внимания, возможно, потому, что большинство специалистов в области квантовой физики считают, что никакой загадки здесь больше нет.

Итак, похоже, что декогеренция объясняет не только то, почему мы не увидим кота Шрёдингера одновременно живым и мертвым, но в первую очередь почему сам кот не будет существовать в этом промежуточном состоянии. Разумеется, этот эффект не объясняет того, как происходит выбор.

Квантовая механика сохраняет свою вероятностную природу, и эта непредсказуемость результата отдельного измерения все так же остается.

На самом деле даже эта потребность в объяснении того, как происходит выбор одного из двух возможных вариантов, теряется, если мы придерживаемся теории мультивселенной. В этом случае кот будет жить в одной вселенной и умереть в другой. Все, что вы делаете, открывая ящик, — это выясняете, в какой из вселенных живете (вселенной живого кота или мертвого). В какой бы из них вы ни оказались, в другой вселенной всегда будет существовать иная версия вас, которая, открыв ящик, обнаружит противоположный результат. Вот так все просто.

Глава 10

Парадокс Ферми

Где же они все?

Энрико Ферми, итало-американский физик и лауреат Нобелевской премии, внес большой вклад в развитие квантовой механики и ядерной физики. В начале 1940-х под его руководством был построен первый в мире ядерный реактор под названием «Чикагская поленница — 1». Один из двух классов элементарных частиц, фермионы, назван в его честь (второй — бозоны), существует даже единица длины, названная его именем, — ферми (альтернативное название для крошечного отрезка, равного одному фемтометру, или триллионной доле миллиметра, — подходящий масштаб для ядерной физики и физики частиц). Но в этой главе речь пойдет о вопросе, сформулированном Ферми в 1950 году и не имеющем отношения к его исследованиям в области субатомной физики. Он касается наиболее важного и фундаментального парадокса из всех, и я приберегу его напоследок.

Свой знаменитый вопрос Ферми задал в разговоре с коллегами за обеденным столом во время визита в Национальную лабораторию Лос-Аламоса в Нью-Мексико, колыбель атомной бомбы и Манхэттенского проекта. Обсуждение витало в области легкомысленных споров о летающих тарелках и о том, смогли бы они превысить скорость света, чтобы добраться до Земли из своих отдаленных звездных систем, или нет.

Парадокс Ферми можно сформулировать так.

Поскольку Вселенная настолько велика, ее размеры настолько необъятны и в одном только Млечном Пути светят сотни миллиардов звезд, многие из которых имеют вокруг себя планетарные системы, то в случае, если Земля не является в высшей степени нетипичным местом в том, что касается условий для развития жизни, Вселенная должна кишеть такими планетами, в том числе населенными разумными цивилизациями. Многие из них должны иметь технологии, позволяющие путешествовать в космосе, и к настоящему моменту они уже должны были посетить нас.

Где же они все в таком случае?

Для Ферми было очевидным, что если наша Солнечная система не уникальна в том, что содержит (хотя бы) одну обитаемую планету, то у инопланетных цивилизаций, имеющих минимальные амбиции по экспансии и достаточно развитые космические технологии, было достаточно времени, чтобы к настоящему моменту колонизировать всю Галактику. Вместе с другими учеными они рассчитали, что любому виду достаточно будет 10 миллионов лет, чтобы сделать это. Хотя это может показаться довольно длительным периодом времени и несколько произвольным значением, важно отметить, что это всего лишь крошечная часть (в этом случае одна тысячная) возраста нашей Галактики,

и не забывайте, что вид *Homo sapiens* появился всего лишь около 200 000 лет назад.

Таким образом, данный парадокс можно свести к следующим двум вопросам.

- ✧ Если жизнь не является чем-то особенным, то где же все остальные?
- ✧ Если же является, то как вышло, что Вселенная настроена настолько тонко, что жизнь смогла возникнуть только на Земле?

Если подумать о способности жизни возникать и процветать на нашей планете даже в самых суровых условиях, то почему жизнь не может зародиться на других планетах, подобных Земле? Возможно, проблема заключается не в распространении зародившейся жизни, но в первую очередь в ее изначальном появлении. Прежде чем мы выясним, смогли ли ученые разрешить этот парадокс и множество сопутствующих вопросов, вкратце рассмотрим несколько решений, предлагаемых чаще всего.

1. **Инопланетяне существуют и на самом деле уже посетили нас.** Этот первый вариант я отброшу на том законном основании, что у нас нет никаких заслуживающих доверия фактов, поддерживающих фантастические иллюзии любителей НЛО и конспирологов. Несмотря на это, многие люди продолжают пребывать в уверенности, что пришельцы уже прилетали к нам на своих тарелках: то ли несколько тысяч лет назад заскочили ненадолго, чтобы построить пирамиды, то ли все еще находятся среди нас, похищая невинных жертв, чтобы проводить над ними причудливые эксперименты.
2. **Инопланетяне существуют, но не вступают с нами в контакт.** Есть множество причин, почему успешная

и развитая внеземная цивилизация может предпочесть никак не сообщать нам о своем существовании. К примеру, возможно (в отличие от нас), они не хотят дальше расселяться по Галактике или предпочли бы оставить нас в покое до тех пор, пока мы не разовьемся достаточно, чтобы заслужить членство в галактическом клубе. Несомненно, эта версия предполагает, что все инопланетные цивилизации мыслят сходным с нами образом.

3. **Мы просто ищем не в том месте.** Мы прислушиваемся к сигналам из космоса уже 50 лет и должны были к настоящему моменту услышать хоть что-нибудь. Но, возможно, нам стоит поискать в какой-то определенной области неба или настроить наши приемники на нужную частоту, или эти сигналы и сообщения уже достигли нас, но мы не смогли их расшифровать.
4. **Жизнь в других местах регулярно уничтожается.** Возможно, мы не ценим привилегированное положение Земли. Может быть, в других солнечных системах существуют пригодные для жизни планеты, но они регулярно испытывают катастрофы планетарного, звездного или галактического масштаба (ледниковые периоды, кометы и метеоры, крупные звездные вспышки или гамма-всплески). В местах, где такие события происходят часто, жизни не хватит времени, чтобы развился разумный вид, способный к космическим путешествиям. Или верно обратное: условия на других планетах настолько комфортны, что жизнь не претерпевает периодов массовых вымираний, которые, как считается, необходимы для того, чтобы обеспечить биоразнообразие и тем самым привести к появлению разумных видов.
5. **Саморазрушение.** Некоторые предполагают, что вся разумная жизнь во Вселенной неизбежно уничтожает

сама себя либо путем войны или эпидемии, либо разрушая свою среду обитания примерно в то время, когда она становится достаточно развитой технологически, чтобы путешествовать в космосе (если это правда, нам это не предвещает ничего хорошего).

6. **Пришельцы просто слишком... чужие.** Мы склонны считать, что инопланетяне должны быть похожи на нас, иметь технологии, подобные тем, которые мы предполагаем развить в будущем. Хотя у нас есть основания думать так, поскольку вся жизнь должна следовать одним и тем же законам физики и быть ими же ограниченной, может оказаться, что нам просто не хватает воображения, дабы понять разумную жизнь, существенным образом отличающуюся от нас. Разумеется, я не имею в виду, будто мы думаем, что они должны быть похожи на пришельцев из кино, но мы склонны предполагать, что это будет углеродная форма жизни, имеющая глаза и конечности и общающаяся посредством обмена звуковыми волнами.
7. **Мы по-настоящему одиноки во Вселенной.** Возможно, условия, необходимые для появления какой-либо жизни, встречаются настолько редко, что это случилось лишь в очень небольшом количестве мест, и Земля — единственная планета, на которой развилась разумная жизнь, способная обуздать природу таким образом, чтобы иметь возможность посылать сигналы о нашем существовании в глубины Вселенной. Или наша планета действительно стала единственным местом, где вообще возникла жизнь.

Вышеописанные варианты — всего лишь предположения и при этом по большей части не очень обоснованные. Сам Ферми считал, что где-то в Галактике может существовать

разумная жизнь, однако расстояния между звездами слишком огромны и, учитывая барьер скорости света, дорога заняла бы слишком много времени, следовательно, ни одна цивилизация не сочла бы визит к нам достойным таких усилий.

Чего Ферми не учел, так это того, что мы можем узнать о существовании технически развитых инопланетян, даже если они никогда не покидали родной планеты. В конце концов, мы заявляем Галактике о своем присутствии на протяжении почти столетия. С тех пор как мы начали использовать радио и телевидение для передачи информации по миру, часть наших сигналов просачивается в космос. Инопланетная цивилизация, живущая в нескольких десятках световых лет от нас, которой придет в голову направить свои радиотелескопы на наше Солнце, заметит необычайное количество слабых, но достаточно сложных радиосигналов, свидетельствующих о том, что на одной из планет в этой системе есть жизнь.

Учитывая, что мы считаем законы физики одинаковыми во всей Вселенной, а также что одним из простейших и универсальнейших средств передачи информации являются электромагнитные волны, следует ожидать, что любая технически развитая цивилизация на каком-то этапе своей жизни будет использовать это средство связи. А в этом случае какие-то ее сигналы должны просочиться в окружающий космос, распространяясь по Галактике со скоростью света.

Прошло совсем немного времени, и астрономы XX века начали рассматривать возможность прослушивания сигналов из космоса с помощью недавно изобретенных радиотелескопов. Серьезный же поиск внеземной жизни начался с одного человека.

Дрейк и его уравнение

Первым настоящим охотником за внеземными цивилизациями стал астроном Фрэнк Дрейк, работавший в Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин Бэнк, штат Западная Виргиния. В 1960 году он поставил эксперимент по поиску признаков жизни в отдаленных звездных системах путем прослушивания электромагнитных сигналов в радиоволновом диапазоне. Проект получил название «Озма» — в честь принцессы Озмы, правительницы Изумрудного города страны Оз из книги Фрэнка Баума.

Дрейк направил свой радиотелескоп на две близлежащие солнцеподобные звезды — Тау Кита и Эпсилон Эридана, расположенные соответственно в 12 и 10 световых годах от Земли. Обе звезды казались подходящими кандидатами для того, чтобы вокруг них вращались обитаемые планеты. Он настроил антенну на прием сигналов определенной частоты, соответствующей довольно специфическому электромагнитному излучению, испускаемому водородом — самым легким, простым и распространенным элементом во Вселенной, что делало его наиболее вероятным вариантом выбора для инопланетной цивилизации, желающей дать о себе знать. Дрейк записывал данные и тщательно проверял их на наличие какого-либо сигнала поверх фонового шума. Спустя несколько месяцев изучения записей, сделанных на протяжении многих часов, единственный интересный сигнал оказался сигналом летевшего очень высоко самолета. Но Дрейк не разочаровался. Он никогда не забывал, что процесс поиска подобен покупке лотерейного билета: если бы что-то нашлось, он считал бы себя счастливым.

Неудача не остановила Дрейка, и в следующем году он организовал первую конференцию SETI (Search for Extraterrestrial

Intelligence — программа поиска внеземного разума), пригласив на нее всех знакомых ему ученых, заинтересованных в предмете на тот момент (их было всего 12).

Дрейк разработал математическую формулу для расчета в нашей Галактике числа цивилизаций (N), чьи радиосигналы можно уловить с Земли. Он вывел это значение путем умножения семи чисел. Получившееся уравнение, названное его именем, выглядит следующим образом:

$$N = R \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L.$$

На самом деле уравнение довольно легко объяснить. Я пройду по значениям всех символов и укажу в скобках значение, которое Дрейк подставил в свои первые расчеты, так что вы увидите, как он получил конечный результат. Символ R означает количество новых звезд, формирующихся в Галактике каждый год (Дрейк предположил, что это значение равно 10 звездам в год). Символ f_p обозначает долю звезд, имеющих планетарные системы (0,5); n_e — число планет в каждой звездной системе, условия на которых пригодны для жизни; f_l , f_i и f_c обозначают соответственно долю планет, пригодных для жизни, на которых действительно развивается жизнь (1); долю обитаемых планет, на которых развивается разумная жизнь (0,5); долю цивилизаций, развившихся до технического уровня, позволяющего им посылать в космос уловимые сигналы, сообщающие об их присутствии (1). Наконец, L соответствует периоду времени, на протяжении которого эта цивилизация продолжает посылать в космос уловимые сигналы (10 000 лет). Умножив эти семь чисел, Дрейк получил ответ $N = 50\,000$.

Это внушительное число подчеркивает проблему парадокса Ферми. Однако насколько можно доверять этому значению? Разумеется, ему совершенно нельзя доверять. Даже если бы

этих семи чисел было достаточно, значения, приписанные ряду из них, были взяты с потолка. Первые три символа (R , f_p и n_c) зависят от величин, которые не были известны полвека назад, но теперь благодаря прогрессу в конструкции телескопов мы начинаем приближаться к их точным значениям. В частности, этому поспособствовало недавнее открытие множества планет за пределами нашей Солнечной системы, называемых внесолнечными планетами.

Однако следующие три множителя представляют собой вероятности, имеющие отношение к появлению разумной и способной к контакту жизни. Каждый из них может принимать практически любое значение от 0 (невозможно) до 1 (навверняка). Дрейк выбрал крайне оптимистичные цифры. Он считал, что если на какой-то землеподобной планете имеются подходящие условия, то появление жизни неизбежно ($f_i = 1$). А если жизнь зародилась, вероятность возникновения разумного вида равна 50 % ($f_i = 0,5$). Если же такой вид появился, он определенно дойдет в своем развитии до разработки технологии, включающей отправку электромагнитных волн в космос (неважно, сознательно это посылаемые сообщения или нет) ($f_c = 1$).

Но числовые значения мало что значат. Уравнение Дрейка имело куда большее значение, чем просто оценка числа инопланетных цивилизаций в нашей Галактике. Оно открыло всемирную охоту за сигналами из космоса, которая не заканчивается и по сей день.

Проект SETI

Аббревиатура SETI обозначает ряд проектов, осуществляемых по всему миру уже много лет и направленных на активный

поиск внеземных сигналов. Мы прислушиваемся к потенциальным сигналам из космоса, передаваемым с помощью электромагнитных волн, с тех самых пор, как ученые поняли, как посылать и принимать сигналы. Один из первых таких случаев восходит к концу XIX века.

В 1899 году, занимаясь изучением атмосферного электричества во время грозы в своей лаборатории в Колорадо-Спрингс и используя при этом свой недавно собранный высокочувствительный приемник, электротехник и изобретатель сербского происхождения Никола Тесла обнаружил слабые сигналы, идущие группами, образующими числовой код из одного, двух, трех и четырех «гудков», которые, как он был уверен, брали начало на Марсе. Свое эмоциональное состояние, вызванное этим открытием, Тесла описал в интервью журналу в 1901 году:

«Никогда не забуду то первое чувство, когда я осознал, что наблюдая явление, которое, возможно, будет иметь огромные последствия для всего человечества... Увиденное, безусловно, меня испугало, словно передо мной было нечто загадочное, если не сказать сверхъестественное... [Электрические сигналы] были периодическими и носили столь явный характер упорядоченной последовательности чисел, что не могли быть вызваны ни одной известной мне в то время причиной... Спустя некоторое время я осознал, что наблюдаемые мной возмущения могли быть посланием разумного существа»¹.

Хотя Теслу критиковали за такие заявления, загадка обнаруженных им сигналов так и осталась без ответа.

Первым серьезным поиском возможных радиосигналов от разумных инопланетян стал краткосрочный проект,

¹ Talking with the Planets // Collier's Weekly, 1901. — 19 Feb. — P. 4–5.

реализованный в Америке в 1924 году. В то время все еще считалось, что наиболее вероятным домом внеземной цивилизации является наш сосед Марс и что, если марсиане собираются вступить с нами в контакт, они сделают это в тот момент, когда две планеты окажутся максимально близко друг к другу. Это происходит во время так называемого противостояния, когда Земля проходит между Марсом и Солнцем. Одно из таких противостояний случилось между 21 и 23 августа 1924 года, когда Марс приблизился к Земле ближе, чем за последние несколько тысяч лет (этот рекорд был побит в августе 2003 года, а в следующий раз это произойдет в 2287 году). Ученые решили, что, если марсиане существуют, они используют это противостояние для передачи сигналов на Землю. Военно-морские силы США восприняли эту идею достаточно серьезно, чтобы огласить «национальный день радиотишины», попросив граждан по всей стране выключать радиоприемники на пять минут в начале каждого часа в течение 36-часового периода прохождения Марса около Земли. В Военно-морской обсерватории США, расположенной в Вашингтоне, радиоприемник был поднят на высоту 3 км на дирижабле, и все военно-морские базы страны получили команду отслеживать радиоволны в поиске чего-либо необычного. Но они не слышали ничего, кроме атмосферных помех и сигналов частных радиостанций, не соблюдавших режим радиотишины.

Именно после первоначального проекта Фрэнка Дрейка движение SETI стало разворачиваться по-настоящему, распространяя свои поиски далеко за пределы Солнечной системы. Чтобы вы поняли, насколько сильно радиотелескопы уже расширили доступный нам диапазон, две звезды, на изучении которых Дрейк сосредоточился в 1960 году,

находятся на расстоянии примерно 10 световых лет от нас — это в два миллиона раз дальше, чем Марс. Это как если бы вы приставили к стене стакан, чтобы послушать, о чем говорит сосед, и, не услышав ничего, решили вместо этого попробовать подслушать разговор в Нью-Йорке, находясь при этом в Лондоне. Очевидно, критически важным моментом было определить, куда именно направить антенну радиотелескопа.

Институт SETI в Калифорнии был основан в 1984 году, а спустя несколько лет стартовал проект «Феникс» под руководством астронома Джилл Тартер, ставшей прообразом главной героини романа Карла Сагана «Контакт». В период между 1995 и 2004 годом в рамках проекта «Феникс» с помощью радиотелескопов, расположенных в Австралии, США и Пуэрто-Рико, осуществлялось наблюдение за 800 солнцеподобными звездами, расположенными в пределах 200 световых лет от Земли. Но ничего так и не обнаружили. Правда, проект стал надежным источником информации, необходимой для исследования возможности существования инопланетной жизни. Вместе с коллегой-астрономом Маргарет Тернбулл Джилл Тартер составила каталог ближайших звезд, которые потенциально могут иметь планетарные системы, где может обнаружиться жизнь (так называемые потенциально обитаемые звезды). Каталог, известный как *NabCat*, в настоящее время содержит 17 000 звезд, большинство из которых находится в пределах нескольких сотен световых лет от Земли и имеет подходящие свойства и характеристики, чтобы вокруг них могли вращаться планеты земного типа.

В 2001 году соучредитель компании «Майкрософт» Пол Аллен согласился профинансировать начальный этап строительства новой антенной решетки в рамках проекта SETI.

Ее называли антенной решеткой Аллена (Allen Telescope Array, АТА); строительство все еще продолжается в нескольких сотнях миль на северо-восток от Сан-Франциско. В готовом виде она будет состоять из 350 антенн (каждая 6 м в диаметре), работающих сообща. Первый этап строительства закончился в 2007 году, когда к работе были подготовлены 43 антенны, но в начале 2011 года проект приостановили из-за урезания государственного финансирования исследований. Вскоре после этого была организована инициативная группа для сбора средств среди частных инвесторов, готовых помочь. Подписались тысячи человек, в том числе кинозвезда Джоди Фостер, сыгравшая роль персонажа Джилл Тартер в голливудской экранизации романа «Контакт» Карла Сагана. По некоторым причинам все это греет мне душу.

Никто не собирается сдаваться, серьезный поиск внеземных цивилизаций только начинается. На сегодняшний день мы тщательно изучили всего несколько тысяч звезд в ограниченном диапазоне частот электромагнитного спектра. С помощью антенной решетки Аллена планируется исследовать 1 миллион звезд в пределах 1000 световых лет. Диапазон частот также расширяется. Дрейк поступил разумно, выбрав для начала частоту межзвездного водорода, равную 1,42 ГГц. Наши небеса — довольно шумное место, они заполнены радиоволнами, идущими из всевозможных источников, включая галактический шум и шум заряженных частиц, проходящих через магнитное поле Земли, равно как и космическое фоновое излучение — отголосок ранней Вселенной. Но диапазон частот, который планируется исследовать с помощью антенной решетки Аллена, лежит между 1 и 10 ГГц и известен как микроволновое окно прозрачности (это особенно тихая область электромагнитного

спектра, идеально подходящая для поиска сигналов от инопланетян).

Однако в последние годы появились более серьезные академические исследования, направленные не на поиски разумной жизни, а на поиски планет земного типа, где она может существовать. Сегодня охота за экзопланетами представляет одну из самых горячих областей исследований.

Экзопланеты

Уверен, что не только я нахожу поиск и изучение внесолнечных планет (или экзопланет) невероятно захватывающим. Одно дело наблюдение и изучение звезд — в конце концов, мы многое знаем об их составе и движении благодаря испускаемому ими свету. Но планеты — это совсем другое. Они не только намного меньше звезд, но к тому же испускают лишь отраженный звездный свет, следовательно, их яркость в миллионы раз меньше яркости самой тусклой звезды. Поэтому любые свидетельства их существования обычно можно получить только непрямым путем. Наиболее распространен так называемый транзитный метод (когда планета проходит на фоне звезды, в светимости последней обнаруживается крошечный провал). Другой метод состоит в определении небольшого гравитационного воздействия, оказываемого планетой на куда более массивную звезду, вызывающего ее небольшое колебание. Этот эффект можно обнаружить либо по изменению частоты света, испускаемого звездой, приближающейся к нам или удаляющейся от нас (доплеровское смещение), либо по изменению ее положения.

Особенный интерес у астрономов вызывают планеты, подобные Земле, поскольку они твердые и имеют гравитацию,

близкую к земной, а также располагаются на таком расстоянии относительно своей звезды, что на их поверхности может существовать жидкая вода (а это потенциально позволяет им стать колыбелью жизни).

На момент написания этих строк было открыто около 700 экзопланет. Но с большой вероятностью это число будет быстро расти. В 2009 году НАСА запустило миссию «Кеплер» (космический корабль, оборудованный приборами, необходимыми для обнаружения экзопланет). В феврале 2011 года исследовательская группа «Кеплер» огласила список из 1235 потенциальных экзопланет, включая 54 планеты, расположенные в зоне обитаемости (шесть планет имеют размеры, приближенные к земным)¹.

По оценке ученых, Млечный Путь содержит как минимум 50 миллиардов планет и по меньшей мере 1 % из них (500 миллионов) находятся в зоне обитаемости. По другим данным, число потенциально обитаемых планет, подобных Земле, составляет более 2 миллиардов. Из них 30 000 находятся в пределах 1000 световых лет от Земли.

На сегодняшний день воображение научного сообщества захватили две подтвержденные экзопланеты, расположенные в зоне обитаемости. Причина не в том, что были обнаружены какие-либо признаки жизни на них, а в том, что на сегодня это лучшие кандидаты в так называемые планеты Златовласки (планеты, имеющие все условия для поддержания

¹ По состоянию на июль 2015 года подтверждена природа более 1000 планет приблизительно из 4700 кандидатов, открытых с помощью телескопа. Сорок девять процентов кандидатов имеют размеры меньше, чем два размера Земли. В том же месяце был выпущен седьмой каталог планет-кандидатов «Кеплера», содержащий 4696 кандидатов (их число, по сравнению с предыдущим каталогом, вышедшим в январе 2015-го, увеличилось на 521) (по данным wikipedia.org со ссылкой на архив экзопланет НАСА).

жизни: не слишком холодные и не слишком горячие, в точности как каша маленького медвежонка из детской сказки¹). Первая носит название Глизе 581 d и вращается вокруг красного карлика Глизе 581 в созвездии Весов (на расстоянии 20 световых лет от Земли). Заметьте, что буква d в конце названия свидетельствует о том, что это третья планета, обнаруженная в этой звездной системе (планеты, вращающиеся вокруг звезды, обозначают буквами в алфавитном порядке начиная с b; букве a соответствует сама звезда). Хотя Глизе 581 d более чем в пять раз больше Земли, согласно последним моделям ее климата, она имеет стабильную атмосферу и на ней есть жидкая вода. В этой же звездной системе было обнаружено еще несколько потенциально обитаемых планет, но данную информацию предстоит подтвердить².

Следующий кандидат носит имя HD 85512 b и вращается вокруг звезды HD 85512, названной так потому, что данные о ней содержатся в звездном каталоге Генри Дрейпера, и находящейся на расстоянии 36 световых лет от Земли в созвездии Паруса. Это одна из самых маленьких экзопланет зоны обитаемости, обнаруженных до сих пор; на данный

¹ Это название представляет собой отсылку к английской сказке Goldilocks and the Three Bears (на русском языке известна как «Три медведя»). В сказке Златовласка пытается воспользоваться несколькими наборами из трех однородных предметов, в каждом из которых один предмет оказывается чересчур большим (твердым, горячим и т. п.), другой — чересчур маленьким (мягким, холодным ...), а третий, промежуточный между ними, выходит в самый раз. Аналогично для того, чтобы оказаться в обитаемой зоне, планета должна находиться не слишком далеко от звезды, не слишком близко к ней, а на «правильном» удалении (https://ru.wikipedia.org/wiki/Зона_обитаемости).

² На сегодняшний день Глизе 581 d относят к неподтвержденным экзопланетам. В 2014 году появились данные, опровергающие ее существование, однако в марте 2015-го они были оспорены (https://ru.wikipedia.org/wiki/Глизе_581_d).

момент она считается лучшим кандидатом на роль колыбели внеземной жизни. Она примерно в четыре раза больше Земли, ее гравитация превышает земную примерно в 1,5 раза, а температура в верхних слоях атмосферы — 25 °С. Температура у поверхности неизвестна, но, вероятно, она должна быть существенно выше. Год на этой планете (время, за которое она делает оборот вокруг своего солнца) равен всего лишь 54 земным дням¹.

В конце 2011 года переполох вызвало сообщение миссии «Кеплер» об обнаружении подтвержденной экзопланеты Kepler-22 b. Хотя ее звезда находится существенно дальше от Земли, чем Глизе 581 и HD 85512 (почти в 600 световых годах от нас), она очень напоминает наше Солнце (звезда главной последовательности спектрального класса G). О размерах планеты Kepler-22 b пока известно не очень много, хотя, по текущим оценкам, ее диаметр в несколько раз превышает земной. Неясно также, твердая это планета, подобно Земле, или газовая, подобно Юпитеру и Сатурну. Если она твердая, то на ее поверхности вполне может существовать вода в жидком состоянии, а тот факт, что она вращается вокруг звезды, подобной Солнцу, на «правильном» расстоянии, делает ее потенциальным многообещающим кандидатом в пригодные для жизни планеты.

Неизвестно, есть ли у нас шансы в ближайшее время найти ответы на все эти вопросы. Но мы серьезно преуспели в исследовании экзопланет за очень короткое время, и открытия продолжают происходить одно за другим².

¹ Планета считалась потенциально обитаемой, до того как критерий обитаемости был изменен (https://ru.wikipedia.org/wiki/HD_85512_b).

² На 6 октября 2015 года в каталоге пригодных для жизни экзопланет (англ. Habitable Exoplanets Catalog) присутствуют 22 подтвержденные экзопланеты (<http://phlupr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog>).

Насколько мы особенные?

Несомненно, планета, подходящая для поддержания жизни, — это уже что-то, но по-настоящему серьезный вопрос заключается вот в чем: при наличии соответствующих условий какова вероятность развития жизни в каком-либо месте? Чтобы ответить на него, придется разобраться, как жизнь появилась на Земле.

Наша планета кишит жизнью — от флоры и фауны до бактерий. При этом многие виды, в особенности микробы, похоже, способны процветать в самых суровых условиях обитания (от дикого холода до невероятной жары), с наличием солнечного света и без него. Это разнообразие жизни и тот факт, что, кажется, ей удалось распространиться по Земле довольно быстро, после того как наша молодая планета остыла, наводит на мысль, что это было не так-то трудно. Но верна ли такая точка зрения? Теперь мы знаем, что условия, подходящие для поддержания жизни, по меньшей мере бактерий, существуют повсюду во Вселенной (или, точнее, повсюду в нашей Солнечной системе), поэтому кажется разумным, что жизнь также могла возникнуть и в других мирах. Но насколько особенна наша родная планета?

Земля определенно находится на идеальном расстоянии от Солнца — на ней не слишком холодно и не слишком жарко. На нее также положительно влияет наличие гигантского Юпитера на наружной орбите. Юпитер играет роль старшего брата-защитника, притягивая своим гравитационным полем космический мусор и тем самым предотвращая его попадание на орбиту Земли и столкновение с ней.

Атмосфера Земли имеет ключевое значение не только для обеспечения нас воздухом (в конце концов, когда на Земле

появилась жизнь, в атмосфере еще не было кислорода), но из-за того, как она воздействует на электромагнитное излучение. Атмосфера Земли прозрачна для лучей видимого спектра, но частично поглощает инфракрасное излучение (тепло) как на пути от Солнца к Земле, так и обратно (отраженное от земной поверхности). Такой парниковый эффект нагревает атмосферу, это удерживает воду на поверхности планеты в жидком состоянии, что больше способствует процветанию жизни, чем лед или пар.

Луна также играет важную роль. Ее гравитация стабилизирует вращение Земли, обеспечивая ей постоянный климат, позволяющий развиваться жизни, в то время как приливные силы, образующиеся в мантии Земли по мере вращения Луны, в особенности когда они находились намного ближе друг к другу миллиарды лет назад, возможно, помогли нагреть мантию и поспособствовали образованию магнитного поля Земли, которое, в свою очередь, защищает нашу планету от солнечного ветра (иначе он сдул бы ее атмосферу в космос).

Даже такой процесс, как движение тектонических плит, оказывается, имеет критическое значение, поскольку помогает перерабатывать углерод, необходимый для стабилизации температуры атмосферы и пополнения запасов питательных веществ, доступных живым существам на поверхности планеты (и даже вносит вклад в формирование магнитного поля Земли).

Так что, вполне возможно, наша планета представляет собой довольно выдающийся образец. Но значит ли это, что жизнь неизбежно должна была появиться здесь? После того как жизнь зародилась и эволюция набрала ход, жизнь уже сама могла о себе позаботиться. Однако вся загвоздка именно

в этом самом первом шаге. Считается, что первыми живыми существами на Земле были одноклеточные прокариоты (простые организмы, не имеющие клеточного ядра), которые появились около 3,5 миллиарда лет назад. Они могли эволюционировать от так называемых протобионтов, представляющих собой скопление органических молекул, заключенное в мембране, но имеющее два ключевых признака жизни: способность размножаться и участие в обмене веществ.

Чего мы до сих пор не знаем, так это какая последовательность событий могла привести органические молекулы, такие как аминокислоты (необходимые для образования белков) и нуклеотиды (структурные единицы ДНК), к появлению первого гена-репликатора. Вопрос о том, как зародилась жизнь, один из важнейших в науке. Этот процесс называется абиогенезом. Многие ошибочно путают биогенез (теорию о том, что жизнь может возникнуть только из жизни) с абиогенезом (процессом, когда биологическая жизнь естественным путем возникает из неорганической материи, в сущности, химия превращается в биологию). Исследования в области абиогенеза направлены на поиск этого волшебного шага, известного как самопроизвольное зарождение, превратившего неживую материю в живую.

Некоторые заявляют, что самопроизвольное зарождение жизни на Земле настолько маловероятно, что его можно сравнить с порывом сильного ветра, который пронесется через свалку и при этом случайно собирает из валяющихся там деталей «Боинг-747», или с ситуацией, когда органические молекулы случайным образом соединятся так, чтобы образовались даже самые примитивные формы жизни. Но справедливо ли такое сравнение?

В 1953 году Стэнли Миллер и Гарольд Юри в попытке ответить на этот вопрос провели в Чикагском университете свой знаменитый эксперимент. Они хотели проверить, удастся ли им создать в пробирке жизнь из ее основных компонентов. Они смешали воду с тремя газами: аммиаком, метаном и водородом, предполагая, что это соответствует газовому составу атмосферы ранней Земли, а затем подогрели смесь до образования пара. Следом пропустили через этот пар с помощью двух электродов электрические разряды, имитирующие разряды молнии в атмосфере Земли, после чего пар охладился и сконденсировался. Через неделю непрерывных повторений этого цикла они обнаружили, что в смеси начали образовываться органические соединения, в том числе аминокислоты — молекулы, необходимые для жизни, поскольку, комбинируясь в определенных последовательностях, они формируют белки живых клеток. Но полноценные белки с их комплексной структурой обнаружены не были, равно как и другие критически важные компоненты жизни — нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК).

Несмотря на такое многообещающее начало, более половины столетия, прошедшей после этого ключевого эксперимента, ученым так и не удается создать искусственную жизнь. Итак, неужели спонтанное возникновение жизни настолько невероятно? Известно, что это произошло по меньшей мере однажды, — мы сами являемся живым тому подтверждением. Но было бы интересно узнать, вся ли жизнь на Земле пошла от одного предка, ведь если это не так, значит, жизнь должна была появиться не один раз, следовательно, ее возникновение не настолько особенное событие, как мы могли бы думать.

Спорные данные, полученные в недавнем исследовании, похоже, поставили эту мысль под сомнение. В озере посреди

калифорнийской пустыни был обнаружен микроорганизм штамм GFAJ-1 (как видите, микробиологи настолько же лишены воображения в том, что касается названий для своих открытий, как и астрономы). Озеро Моно, образовавшееся около миллиона лет назад, имеет очень необычный химический состав. Его соленость в 2–3 раза выше, чем у океана, оно содержит хлориды, карбонаты и сульфаты и имеет очень высокую щелочность (кисотно-щелочной баланс (рН) равен 10). Хотя в озере нет рыбы, химический состав воды идеально подходит для жизни одноклеточных водорослей определенного типа и триллионов крошечных солоноводных креветок, служащих основным источником питания для миллионов перелетных птиц, каждый год проводящих на этом озере несколько месяцев. Ах да, также это озеро богато мышьяком.

Группа биологов из института НАСА под руководством Фелисы Вольф-Саймон заинтересовалась крошечной бактерией GFAJ-1, потому что она, похоже, способна делать нечто доселе невиданное: питаться мышьяком — химическим элементом, ядовитым для всей остальной жизни.

Нам известно, что все живое на Земле зависит от множества разных элементов, но сама ДНК имеет всего пять компонентов: углерод, водород, азот, кислород и фосфор. Вопрос заключается в том, можно ли заменить их другими химически сходными элементами. Мышьяк находится в таблице Менделеева сразу под фосфором, следовательно, имеет похожую атомную структуру. Исследователи из НАСА знали, что бактерии GFAJ-1 устойчивы к мышьяку, а в озере Моно содержится очень мало фосфора. Тогда они посадили эти бактерии «на диету», богатую мышьяком, — и бактерии продолжили успешно расти, даже когда ученые полностью убрали фосфор. Для деления клеток требуется

строительный материал, из которого образуется новая ДНК. Как же этим микроорганизмам удалось обойтись без одного из пяти критически значимых элементов?

Публикация этой работы в 2010 году вызвала волнения в мировом научном сообществе. Исследователи утверждали, что GFAJ-1 буквально замещает фосфор мышьяком в структуре своей ДНК. Если это окажется правдой, то перед нами встанет вопрос на миллион долларов: появилась ли эта способность использовать таким образом мышьяк эволюционным путем, или же эти бактерии возникли в ходе изолированного процесса абиогенеза? Если верно последнее, станет ясно, что жизнь могла начаться по меньшей мере в двух отдельных местах, следовательно, может оказаться, что это не такое уж редкое событие.

Мы все еще не знаем, как на Земле зародилась жизнь. Если мы и ответим на этот вопрос, все равно еще останутся другие загадки, касающиеся вероятности возникновения разумной жизни. В конце концов, может оказаться, что жизнь существует в нашей галактике во многих местах, но разумная жизнь появилась только в одном месте.

Последние исследования поведения воронов свидетельствуют, что у этих птиц сформировался удивительно высокий интеллект, причем совершенно своим, отдельным от человеческого, эволюционным путем. Если это так, то, возможно, интеллект также является неизбежным результатом дарвиновской эволюции. Ответ на этот и другие вопросы, включая вопрос о том, как одноклеточные организмы превратились в многоклеточные, поможет нам понять, стоит ли рассчитывать, что все эти важные этапы эволюционного процесса (от абиогенеза до появления людей) произошли где-то еще во Вселенной.

Антропный принцип

Существует куда более глубокий вопрос, нежели заданный Ферми, о котором я должен упомянуть, прежде чем закончить главу. До недавних пор он был исключительно сферой философии, но теперь стал частью общепринятой физической науки. Его центральная идея называется антропным принципом, направленным на невероятность существования нашей Вселенной или по меньшей мере того ее уголка, где проживаем мы, настолько идеально подходящего и тонко настроенного для существования нас, людей. В современной форме его предложил и объяснил австралийский космолог Брэндон Картер на научной конференции в Польше в 1973 году, посвященной 500-летней годовщине со дня рождения Коперника. Картер сформулировал принцип следующим образом: «То, что мы ожидаем увидеть во Вселенной, должно быть ограничено условиями нашего существования как наблюдателей. Мы неизбежно должны занимать пусть и не *центральное*, но до некоторой степени привилегированное положение». Примечательно, что он высказал свою идею именно во время этого мероприятия, ведь Коперник первым из ученых предположил, что человеческий вид *не* занимает сколько-нибудь привилегированного положения во Вселенной. Теперь же появился Картер, предположивший, что вся Вселенная выглядит именно так, потому что, если бы она была хоть немного другой, нас бы не существовало.

Позвольте привести пример из моей научной области — ядерной физики. Одна из четырех фундаментальных сил природы — сильное ядерное взаимодействие — отвечает за связи внутри ядра атома. Два ядра водорода (единичные протоны) не могут объединиться, поскольку сильное ядер-

ное взаимодействие недостаточно сильно для этого. Но его силы вполне хватит, чтобы соединить протон и нейтрон, образовав в результате дейтрон (ядро атома тяжелого водорода), который играет существенную роль в последовательности этапов термоядерного синтеза, в результате которых водород превращается в гелий. Этот процесс идет во всех звездах, и благодаря ему образуются живительные свет и тепло нашего Солнца. Но что произошло бы, если бы сильное ядерное взаимодействие было хоть на малую долю сильнее? Тогда его мощности могло хватить, чтобы соединить вместе два протона (в этом случае водород превращался бы в гелий намного проще). На самом деле весь водород во Вселенной вступил бы в эту реакцию и превратился бы в гелий сразу после Большого взрыва. Без водорода не было бы и его соединения с кислородом, образующего воду, а следовательно, и никаких шансов на появление жизни (как мы ее понимаем).

Похоже, антропный принцип гласит, что само наше существование определяет некоторые свойства Вселенной, поскольку если бы они были хоть немного иными, нас бы не было здесь, чтобы задать этот вопрос. Но правда ли эта ситуация настолько исключительна? Возможно, будь Вселенная другой, возникли бы другие «мы» согласно тем условиям, которые бы позволили нам существовать, и эти другие «мы» все так же задавались бы вопросом: как вышло, что Вселенная настолько тонко настроена?

Это можно представить следующим образом: спросите у себя, как так вышло, что лично вы существуете. В конце концов, какова была вероятность того, что ваши родители встретятся и родятся вы? А какова была вероятность того, что они родятся у своих родителей? Каждый из нас находится на конце длинной и крайне маловероятной цепи событий,

тянущейся вплоть до появления самой жизни. Разорвись всего одно звено этой цепи — и вас бы не существовало. Так что можете при желании поразмыслить, каким образом антропный принцип применим к вам. Но это не более удивительно, чем размышления выигравшего в лотерею о своей удаче. Если бы все эти цифры не сошлись, кто-то другой выиграл бы и точно так же мог бы раздумывать над невероятностью своей победы.

Аргумент Брэндона Картера стал известен как слабый антропный принцип. Существует также сильный антропный принцип, который гласит, что Вселенная должна быть такой, какая она есть, для того чтобы где-то в какой-то момент времени смогла появиться разумная жизнь и задаться вопросом о своем существовании. Эта версия немного отличается, и она, безусловно, куда более спекулятивна. Лично я считаю, что это полная чепуха. Сильный антропный принцип приписывает Вселенной цель, утверждая, что она каким-то образом обязана была стать такой, какая есть, чтобы появились мы. Существует даже довольно замысловатая квантово-механическая версия этого аргумента, стоящая в одном ряду с решением парадокса кота Шрёдингера с помощью сознательного наблюдателя: наблюдая Вселенную на протяжении всей нашей истории, мы вызываем ее к жизни. Из всех потенциально существующих вселенных мы выбрали ту, которая позволяет нам жить в ней.

Куда более простой способ решения загадки антропного принципа можно обнаружить, поддавшись привлекательной теории мультивселенной. В конце концов, если существуют все потенциально возможные варианты вселенных, нет ничего удивительного, что мы живем именно в той, которая идеально подходит нам.

Позвольте мне в завершение этой главы вернуться к тому, с чего я начал, — к знаменитому вопросу Энрико Ферми о молчании космоса вокруг. В конечном итоге тонко настроенная под нас Вселенная также будет тонко настроенной для других форм жизни, не очень отличающихся от нас. Поскольку необъятность Вселенной с ее миллиардами галактик намекает на то, что какой бы особенной ни была Земля и насколько бы маловероятным ни было появление жизни на ней, крайне вероятно, что жизнь существует повсюду, вполне может быть, что мы одиноки только в своем небольшом закоулке Млечного Пути.

Почему же мы тогда продолжаем свои, возможно, тщетные поиски? Потому что мы ищем ответы на наиболее фундаментальные вопросы бытия: что такое жизнь? Уникальны ли мы? Что это значит — быть человеком и каково наше место во Вселенной? Даже если мы никогда не найдем ответы на эти вопросы, очень важно, что мы продолжаем задавать их.

Глава 11

Вопросы, оставшиеся без ответов

Могут ли частицы превышать скорость света?

Обладаем ли мы свободой воли?

И другие нерешенные головоломки

Надеюсь, вы согласитесь, что мы успешно справились с девятью наиболее значимыми научными парадоксами. Мы изгнали демонов, спасли кота и дедушку, разрешили спор близнецов, помирились с ночным небом и поставили древнего грека Зенона на место. Но вам, возможно, любопытно, не отбирал ли я специально только загадки, уже успешно решенные наукой, и существуют ли другие, которые я проигнорировал, поскольку мы еще не нашли на них ответы. Что ж, разумеется, такие загадки есть. Вселенная все еще полна тайн, и именно это делает ее столь уникальной.

Все оставшиеся загадки и тайны можно разделить на три (или более) группы: те, к пониманию и решению которых

наука приблизилась вплотную; те, которые ученые рассчитывают однажды решить (возможно, в далеком будущем); философские или метафизические проблемы, ответы на которые наука, быть может, не найдет никогда либо потому, что они лежат вне ее сферы компетенции, либо потому, что мы не можем даже теоретически отыскать какой-либо подходящий способ их исследования, который позволил бы нам получить удовлетворительный ответ.

Вместо того чтобы детально описывать эти нерешенные проблемы науки в конце книги, я приведу примеры, относящиеся к разным группам. Я должен подчеркнуть, что не выстраивал их в каком-то определенном порядке в зависимости от того, как скоро они, по моему мнению, будут решены. Отмечу также, что это мое субъективное мнение, а эти списки неполные и не ограниченные парадоксальными загадками и вопросами. Я привожу их здесь, чтобы заострить внимание на том, как много нам еще нужно узнать о Вселенной и нашем месте в ней.

Я начну с 10 задач из первой группы — это вопросы, на которые, как я думаю, наука найдет ответы уже в течение моей жизни.

1. Почему материи во Вселенной больше, чем антиматерии?
2. Из чего состоит темная материя?
3. Что представляет собой темная энергия?
4. Возможны ли полноценно работающие плащи-невидимки?
5. Как далеко мы сможем продвинуться в сборке химических соединений в попытках объяснить появление жизни?
6. Каким образом нить органического материала сворачивается в белковую структуру?
7. Есть ли абсолютный предел человеческого срока жизни?

8. Каким образом воспоминания записываются в мозг и считываются из него?
9. Научимся ли мы однажды предсказывать землетрясения?
10. Каковы пределы возможностей классической вычислительной техники?

Я уверен, что следующие 10 проблем однажды будут решены наукой, однако сомневаюсь, что доживу до этого момента.

1. Являются ли частицы крошечными вибрирующими струнами, или теория струн представляет собой не более чем ловкий математический трюк?
2. Существовало ли что-то до Большого взрыва?
3. Существуют ли скрытые измерения?
4. Где и каким образом в головном мозге образуется сознание?
5. Может ли машина обрести сознание?
6. Возможны ли путешествия в прошлое?
7. Какую форму имеет Вселенная?
8. Что находится на противоположном конце черной дыры?
9. Лежат ли в основе квантовой странности более глубокие принципы?
10. Возможна ли хотя бы в теории квантовая телепортация людей?

Наконец, вот несколько задач, лежащих, по мнению многих, в сфере компетенции науки, однако ответы на них, боюсь, наука никогда не сможет найти.

1. Обладаем ли мы свободой воли?
2. Существуют ли параллельные вселенные?

3. Чем было вызвано появление Вселенной?
4. Изобрели ли мы математику для описания Вселенной, или эти физические уравнения существовали всегда, ожидая, когда их откроют?

Быстрее света?

Прежде чем завершить эту последнюю главу, хочу привести пример явления, которое, если верить результатам недавних экспериментов, многие сочтут парадоксальным. На момент написания этих строк в физике частиц присутствует две нерешенные загадки, о которых в 2011 году трубили газеты по всему миру. Обе они имеют отношение к экспериментам, проведенным на ускорителе частиц Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. Первый вопрос заключается в том, могут ли частицы двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Второй вопрос касается существования неуловимого бозона Хиггса, элементарной частицы, наполняющей Вселенную содержанием. В обоих случаях результаты, полученные на сегодняшний день, были неубедительны, и в обоих случаях нужно продолжать эксперименты. В попытке обеспечить этой книге долгую жизнь, я рискну предложить свой прогноз относительно того, как разрешатся эти вопросы. Существование бозона Хиггса подтвердится летом 2012 года, а что касается субатомных частиц, называемых нейтрино, выяснится, что они движутся со скоростью, чуть-чуть отстающей от скорости света. Но не обессудьте, если в одном или обоих случаях я окажусь не прав!¹

¹ Автор оказался абсолютно прав. В случае бозона Хиггса 4 июля 2012 года в результате исследований на БАК был обнаружен кандидат на его роль — новая частица массой около 125–126 ГэВ/c. В марте 2013 года появились сообщения от отдельных исследователей ЦЕРН, что найденная частица действительно является бозоном Хиггса (https://ru.wikipedia.org/wiki/Бозон_Хиггса).

Из двух этих сообщений — спорной новости о том, что нейтрино способны превышать скорость света, и предполагаемого открытия бозона Хиггса — первое больше укладывается в наше определение научного парадокса.

На сегодня суть заключается в том, что объединенная коллаборация двух европейских лабораторий (ЦЕРН в Швейцарии и Гран-Сассо в Центральной Италии) измерила скорость, с которой поток нейтрино преодолел 730 км между двумя этими лабораториями, двигаясь сквозь горную породу. Для нейтрино это все равно что передвигаться в пустом пространстве, потому что они вряд ли взаимодействуют хоть с чем-либо. На самом деле миллиарды нейтрино, в основном образовавшихся в Солнце, в настоящий момент проходят сквозь ваше тело, чего вы совершенно не замечаете.

Коллаборация OPERA (от англ. *Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus*) использует большой и сложный прибор, расположенный в лаборатории Гран-Сассо, он способен захватывать крошечную долю этих трудноуловимых частиц. В сентябре 2011 года ученые из этой коллаборации объявили, что им удалось зарегистрировать нейтрино, прилетевшие от ЦЕРН до Гран-Сассо на шесть миллиардных секунды быстрее, чем это расстояние преодолевает свет. Не намного быстрее, но все же это невероятный результат.

Ведь, согласно нашему пониманию законов физики, ничто не может превысить скорость света. А по моему опыту, ничто так не раздражает людей в теории относительности Эйнштейна (ведь именно там берет начало эта идея), как утверждение об этом космическом пределе. С момента выхода статьи Эйнштейна в 1905 году были проведены тысячи экспериментов, результаты которых только подтвердили его правоту (существенная часть величественного здания со-

временной науки стоит на этом фундаменте). Критический момент заключается не в том, что свет занимает какое-то особенное положение, а в том, что предел скорости света вплетен в ткань самого пространства и времени.

Но что, если Эйнштейн ошибался? Можно ли как-то объяснить явление, обнаруженное коллаборацией OPERA? Самое главное свойство любой научной теории заключается в том, что она находится на виду у всех; мы свободны доказать ее ложность с помощью новых научных данных или заменить ее более точной теорией, объясняющей больше. Но неординарные заявления требуют неординарных подтверждений, и ученые из коллаборации OPERA, которых нельзя порицать за слишком скрупулезное отношение к своей экспериментальной работе, первыми признали, что понятия не имеют, как полученные ими результаты могут быть возможны.

После ажиотажа в СМИ, спешивших обвинить Эйнштейна в неправоте, наступил новый виток драмы. В ходе конкурирующего эксперимента в Гран-Сассо, названного ICARUS (измерялась энергия нейтрино, а не время их путешествия), также были пойманы нейтрино, летевшие из ЦЕРН. Вскоре после первоначального заявления коллаборации OPERA физики-теоретики отметили, что если нейтрино могут двигаться со сверхсветовой скоростью, то они должны испускать излучение на протяжении своего пути и все время терять энергию. Если бы они не делали этого, то уподобились бы самолету, преодолевающему звуковой барьер без сверхзвукового хлопка. Это было бы невозможно.

Исследователи из группы ICARUS объявили, что им не удалось обнаружить свидетельства этого излучения, поскольку нейтрино прибыли в пункт назначения с тем же уровнем

энергии, с которым начали свой путь. Итак, эти частицы не могли путешествовать быстрее света.

Но дело в том, что результаты эксперимента ICARUS подтверждают правоту Эйнштейна не больше, нежели ее опровергают результаты коллаборации OPERA. И те и другие — не более чем экспериментально измеренные величины, но не открытия. Чтобы по-настоящему проверить эту идею, нужен новый эксперимент, независимо проведенный другой лабораторией. Я считаю, что именно на этом этапе скорость света подтвердит свой мировой рекорд.

Но я был бы рад, если бы нейтрино на самом деле могли превышать скорость света. Такое открытие, если бы его подтвердили, стало бы благодатью для физиков по всему миру. Они бы исписывали вдоль и поперек доски, подстегиваемые Нобелевской премией для нового Эйнштейна, способного разрешить парадокс нейтрино¹.

¹ В отношении скорости нейтрино автор также не ошибся. В мае 2012 года OPERA провела ряд контрольных экспериментов и пришла к окончательному выводу, что причиной ошибочного вывода о сверхсветовой скорости стал технический дефект (плохо вставленный разъем оптического кабеля) ([https://ru.wikipedia.org/wiki/OPERA_\(эксперимент\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/OPERA_(эксперимент)))).

Об авторе

Профессор **Джим Аль-Халили** — офицер Ордена Британской империи, университетский преподаватель, писатель, радио- и телеведущий. Занимает должность ведущего физика-теоретика Университета Суррея, где преподает и ведет исследовательскую деятельность в области квантовой механики. Ему принадлежит ряд научно-популярных книг, переведенных на 20 языков, последняя из них — «Первопроходцы: золотой век арабской науки»¹. Выпустил несколько документальных телевизионных и радиопередач, в том числе номинированные на премию BAFTA телесериалы «Химия: изменчивая история» и «Тайная жизнь хаоса». Ведет еженедельную научно-популярную программу *Life Scientific* на «Би-би-си Радио 4». В 2007 году Лондонское королевское общество наградило его Премией Майкла Фарадея, а в 2011 году Институт физики вручил медаль Кельвина (обе награды — за научно-просветительскую деятельность).

¹ Последняя книга «Жизнь на грани: грядущая эра квантовой биологии» вышла в 2014 году.

Дж. Аль-Халили

Парадокс. Девять великих загадок физики

Перевела с английского *О. Бандура*

Заведующая редакцией
Руководитель проекта
Ведущий редактор
Художественный редактор
Корректоры
Верстка

*Ю. Сергиенко
О. Сивченко
Н. Гринчик
С. Маликова
О. Андриевич, Е. Павлович
А. Барцевич*

Изготовлено в России. Изготовитель: ООО «Прогресс книга».

Место нахождения и фактический адрес: 191123, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Радищева, д. 39, к. Д, офис 415. Тел.: +78127037373.

Дата изготовления: 04.2018. Наименование: книжная продукция. Срок годности: не ограничен.

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции ОК 034-2014, 58.11.12 —
Книги печатные профессиональные, технические и научные.

Импортер в Беларусь: ООО «ПИТЕР М», РБ, 220020, г. Минск, ул. Тимирязева,
д. 121/3, к. 214, тел./факс: 208 80 01.

Подписано в печать 11.04.18. Формат 84×108/32. Бумага офсетная. Усл. п. л. 15,120.
Тираж 4000. Заказ 8342.



Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфический комбинат»
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.

www.oaompk.ru, www.oaompk.ru тел.: (495) 745-84-28, (49638) 20-685

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПИТЕР» предлагает профессиональную, популярную и детскую развивающую литературу

Заказать книги оптом можно в наших представительствах

РОССИЯ

Санкт-Петербург: м. «Выборгская», Б. Сампсониевский пр., д. 29а
тел./факс: (812) 703-73-83, 703-73-72; e-mail: sales@piter.com

Москва: м. «Электrozаводская», Семеновская наб., д. 2/1, стр. 1, 6 этаж
тел./факс: (495) 234-38-15; e-mail: sales@msk.piter.com

Воронеж: тел.: 8 951 861-72-70; e-mail: hitsenko@piter.com

Екатеринбург: ул. Толедова, д. 43а; тел./факс: (343) 378-98-41, 378-98-42;
e-mail: office@ekat.piter.com; skype: ekat.manager2

Нижний Новгород: тел.: 8 930 712-75-13; e-mail: yashny@yandex.ru; skype: yashny1

Ростов-на-Дону: ул. Ульяновская, д. 26
тел./факс: (863) 269-91-22, 269-91-30; e-mail: piter-ug@rostov.piter.com

Самара: ул. Молодогвардейская, д. 33а, офис 223
тел./факс: (846) 277-89-79, 277-89-66; e-mail: pitvolga@mail.ru,
pitvolga@samara-ttk.ru

БЕЛАРУСЬ

Минск: ул. Розы Люксембург, д. 163; тел./факс: +37 517 208-80-01, 208-81-25;
e-mail: og@minsk.piter.com

Издательский дом «Питер» приглашает к сотрудничеству авторов:
тел./факс: (812) 703-73-72, (495) 234-38-15; e-mail: ivanovaa@piter.com
Погрoбная информация эгесь: <http://www.piter.com/page/avtoru>

Издательский дом «Питер» приглашает к сотрудничеству зарубежных торговых партнеров или посредников, имеющих выход на зарубежный рынок: тел./факс: (812) 703-73-73; e-mail: sales@piter.com

Заказ книг для вузов и библиотек:
тел./факс: (812) 703-73-73, гoб. 6243; e-mail: uchebnik@piter.com

Заказ книг по почте: на сайте www.piter.com; тел.: (812) 703-73-74, гoб. 6216;
e-mail: books@piter.com

Вoпросы по продаже электронных книг: тел.: (812) 703-73-74, гoб. 6217;
e-mail: kuznetsov@piter.com

ВАША УНИКАЛЬНАЯ КНИГА

Хотите издать свою книгу? Она станет идеальным подарком для партнеров и друзей, отличным инструментом для продвижения вашего бренда, презентом для памятных событий! Мы сможем осуществить ваши любые, даже самые смелые и сложные, идеи и проекты.

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ:

- издать вашу книгу
- издание книги для использования в маркетинговых активностях
- книги как корпоративные подарки
- рекламу в книгах
- издание корпоративной библиотеки

Почему надо выбрать именно нас:

Издательству «Питер» более 20 лет. Наш опыт – гарантия высокого качества.

Мы предлагаем:

- услуги по обработке и доработке вашего текста
- современный дизайн от профессионалов
- высокий уровень полиграфического исполнения
- продажу вашей книги во всех книжных магазинах страны

Обеспечим продвижение вашей книги:

- рекламой в профильных СМИ и местах продаж
- рецензиями в ведущих книжных изданиях
- интернет-поддержкой рекламной кампании

Мы имеем собственную сеть дистрибуции по всей России, а также на Украине и в Беларуси. Сотрудничаем с крупнейшими книжными магазинами.

Издательство «Питер» является постоянным участником многих конференций и семинаров, которые предоставляют широкую возможность реализации книг.

Мы обязательно проследим, чтобы ваша книга постоянно имелась в наличии в магазинах и была выложена на самых видных местах.

Обеспечим индивидуальный подход к каждому клиенту, эксклюзивный дизайн, любой тираж.

Кроме того, предлагаем вам выпустить электронную книгу. Мы разместим ее в крупнейших интернет-магазинах. Книга будет сверстана в формате ePub или PDF – самых популярных и надежных форматах на сегодняшний день.

Свяжитесь с нами прямо сейчас:

Санкт-Петербург – Анна Титова, (812) 703-73-73, titova@piter.com

Москва – Сергей Клебанов, (495) 234-38-15, klebanov@piter.com

•NS ДЖ. АЛЬ-ХАЛИЛИ

ПАРАДОКС

ДЕВЯТЬ ВЕЛИКИХ ЗАГАДОК ФИЗИКИ

- Галилей, ты что, утверждаешь, что Земля вертится?
 - Да... понимаете?
 - Что, и ратуша наша вертится?!
 - Именно так. Позвольте пояснить...
 - Галилей, да что за глупость тебе привиделась!
- Ратуша триста лет на месте стоит.

Всем, кто безнадежно и безутешно пытается увязать современную науку со здравым смыслом, господин **Аль-Халили** ответственно заявляет: бросьте, иногда это попросту невозможно. Потому-то настоящая наука так интересна, загадочна и... парадоксальна!

ООО «Книжный Лабиринт»

Аль-Халили Джим

Парадокс. Девять великих
загадок физики. мягк

цена: 520,00 р

643364

Математика. Естественные науки

20.07.2018

- vk.com/piterbooks
- instagram.com/piterbooks
- facebook.com/piterbooks
- youtube.com/ThePiterBooks