

МИТИО КАКУ

ГИПЕРПРОСТРАНСТВО

НАУЧНАЯ ОДИССЕЯ ЧЕРЕЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МИРЫ,
ДЫРЫ ВО ВРЕМЕНИ И ДЕСЯТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Завораживающе... Читатель ошеломлен, вдохновлен и смотрит на мир
в буквальном смысле новым, революционным взглядом.

The Washington Post



Вы смогли скачать эту книгу бесплатно и легально благодаря проекту **«Дигитека»**. [Дигитека](#) — это цифровая коллекция лучших научно-популярных книг по самым важным темам — о том, как устроены мы сами и окружающий нас мир. Дигитека создается командой научно-просветительской программы [«Всенаука»](#). Чтобы сделать умные книги бесплатными, достойно вознаградив авторов и издателей, Всенаука организовала всенародный сбор средств.

Мы от всего сердца благодарим всех, кто помог освободить лучшие научно-популярные книги из оков рынка! Наша особая благодарность — тем, кто сделал самые значительные пожертвования (имена указаны в порядке поступления вкладов):

Дмитрий Зимин
Екатерина Васильева
Зинаида Стаина
Иван Пономарев
Александр Боев
Николай Кочкин
Сергей Вязьмин
Сергей Попов
Алина Федосова
Роберт Имангулов
Алексей Волков
Анонимный жертвователь
Кирилл Крохмалев
Руслан Кундельский
Андрей Савченко
Владимир Валентинасов
Павел Дорожкин
Евгений Шевелев
Павел Мерзляков
Александра Прутова
Лада Сычева

Максим Кузьмич
Анастасия Коростелева

Мы также от имени всех читателей благодарим за финансовую помощь Фонд поддержки культурных и образовательных проектов «Русский глобус».

Этот экземпляр книги предназначен только для личного использования. Его распространение, в том числе для извлечения коммерческой выгоды, не допускается.

Посвящается моим родителям

HYPERSPACE

*A Scientific Odyssey
Through Parallel Universes,
Time Warps, and
the Tenth Dimension*

Michio Kaku



Anchor Books
A DIVISION OF RANDOM HOUSE, INC.
New York

ГИПЕРПРОСТРАНСТВО

*Научная одиссея
через параллельные миры,
дыры во времени
и десятое измерение*

Митио Каку

Перевод с английского

3-е издание



Москва
2016

УДК 531-4
ББК 22.31
К16

Переводчик Ульяна Сапцина
Научный редактор Константин Томс
Редактор Роза Пискотина

Каку М.

К16 Гиперпространство: Научная одиссея через параллельные миры, дыры во времени и десятое измерение / Митио Каку ; Пер. с англ. — 3-е изд. — М.: Альпина нон-фикшн, 2016. — 502 с.

ISBN 978-5-91671-492-0

Инстинкт говорит нам, что наш мир трехмерный. Исходя из этого представления, веками строились и научные гипотезы. По мнению выдающегося физика Митио Каку, это такой же предрассудок, каким было убеждение древних египтян в том, что Земля плоская. Книга посвящена теории гиперпространства. Идея многомерности пространства вызывала скепсис, высмеивалась, но теперь признается многими авторитетными учеными. Значение этой теории заключается в том, что она способна объединять все известные физические феномены в простую конструкцию и привести ученых к так называемой теории всего. Однако серьезной и доступной литературы для неспециалистов почти нет. Этот пробел и восполняет Митио Каку, объясняя с научной точки зрения и происхождение Земли, и существование параллельных вселенных, и путешествия во времени, и многие другие кажущиеся фантастическими явления.

УДК 531-4
ББК 22.31

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alpina.ru.

© Michio Kaku, 1994

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2016

ISBN 978-5-91671-492-0 (рус.)
ISBN 978-0-19-286189-4 (англ.)

Содержание

Предисловие	9
Благодарности	18

ЧАСТЬ I

Знакомство с пятым измерением 21

1. Миры за пределами пространства и времени 23
2. Математики и мистики 61
3. Человек, который «видел» четвертое измерение 92
4. Тайна света: колебания в пятом измерении 124

Часть II

Объединение в десяти измерениях 163

5. Квантовая ересь 165
6. Реванш Эйнштейна 197
7. Суперструны 217
8. Сигналы из десятого измерения 254
9. До сотворения 272

ЧАСТЬ III

«Червоточины»: ворота в другие вселенные? 305

10. Черные дыры и параллельные миры 307
11. Создание машины времени 326
12. Сталкивающиеся вселенные 353

Часть IV**Повелители гиперпространства 377**

13. За пределами будущего 379

14. Судьба вселенной 418

15. Заключение 434

Примечания 465

Библиография и рекомендуемая литература 493

Предметный указатель 496

Завораживающе... Читатель ошеломлен, вдохновлен и смотрит на мир в буквальном смысле новым, революционным взглядом.

The Washington Post

Предисловие

Научная революция почти по определению противоречит здравому смыслу.

Если бы наши продиктованные здравым смыслом представления о Вселенной были верны, наука разгадала бы ее секреты еще тысячи лет назад. Цель науки — очистить предмет от внешних проявлений, обнажая скрывающуюся под ними сущность. Собственно, если бы видимость и сущность совпали, потребности в науке не возникло бы.

Вероятно, наиболее укоренившееся представление о нашем мире, проистекающее из здравого смысла, — то, что наш мир трехмерный. Без лишних объяснений понятно, что длины, ширины и высоты достаточно для описания всех объектов в видимой нам Вселенной. Эксперименты с младенцами и животными подтвердили, что ощущение трехмерности нашего мира присуще нам с самого рождения. А когда мы прибавляем к трем измерениям еще одно — время, то четырех измерений хватает для описания всего происходящего во Вселенной. Где бы ни применялись наши инструменты — и в глубине атома, и на самых дальних границах скопления галактик, — мы нашли только свидетельства этих четырех измерений. Во всеуслышание утверждать иное, заявлять о возможном существовании других измерений или сосуществовании нашей Вселенной рядом с другими — значит навлекать на себя насмешки. Тем не менее этому глубоко укоренившемуся предрассудку в отношении нашего мира, впервые взятому на вооружение древнегреческими философами два тысячелетия назад, предстоит пасть жертвой научного прогресса.

Эта книга посвящена революции в науке, которую произвела *теория гиперпространства*¹, утверждающая, что существуют и другие измерения помимо четырех общеизвестных измерений пространства и времени. Физики всего мира, в том числе несколько нобелевских лауреатов, все охотнее признают, что в действительности Вселенная может существовать в пространстве с более высоким количеством измерений. Если эта теория верна, она совершит концептуальный и философский переворот в наших представлениях о Вселенной. В научных кругах теория гиперпространства известна под названием теорий Калуцы–Клейна и супергравитации. В усовершенствованном виде она представлена теорией суперструн, которая даже предполагает точное число измерений — десять. Три обычных пространственных (длина, ширина, высота) и одно временное дополнены еще шестью пространственными.

Предупреждаем: теория гиперпространства еще не подтверждена экспериментально, и, в сущности, весьма затруднительно подтвердить ее в лабораторных условиях. Однако она уже распространилась, покорила крупные исследовательские лаборатории мира и бесповоротно изменила научный ландшафт современной физики, породив ошеломляющее множество научно-исследовательских работ (по одним подсчетам — свыше 5000). Однако для неспециалистов почти ничего не написано, им не рассказали об удивительных свойствах многомерного пространства. Следовательно, широкие массы имеют лишь смутное представление об этой революции, если вообще имеют. Более того, бойкие упоминания об иных измерениях и параллельных вселенных в популярной культуре зачастую вводят в заблуждение. И это прискорбно, так как значение этой теории заключается в том, что она способна объединять все известные физические феномены в поразительно простую конструкцию. Благодаря данной книге впервые становятся доступными авторитетные с научной точки зрения и вместе с тем понятные сведения об увлекательных современных исследованиях гиперпространства.

Стремясь объяснить, почему теория гиперпространства вызвала такой ажиотаж в мире теоретической физики, я подробно рассмотрел четыре фундаментальные темы, которые красной нитью проходят через всю книгу. Этим темам соответствуют четыре части.

В части I я излагаю ранний этап развития теории гиперпространства, подчеркивая, что законы природы становятся более простыми и красивыми, если их записывать для большего числа измерений.

Для того чтобы понять, каким образом многомерность может упростить физические задачи, рассмотрим следующий пример: для древних египтян все, что связано с погодой, было полнейшей загадкой. Что вызывает смену времен года? Почему становится теплее, если ехать на юг? Почему ветры обычно дуют в одном направлении? Невозможно было объяснить погоду, пользуясь ограниченными знаниями древних египтян, которые считали Землю двумерной плоскостью. А теперь представим, что египтян в ракете запустили в космос, откуда Земля видна как объект, движущийся по орбите вокруг Солнца. И ответы на все перечисленные ранее вопросы станут очевидными.

Тому, кто находится в космосе, ясно, что земная ось отклонена от вертикали примерно на 23° (при этом вертикаль перпендикулярна плоскости орбиты вращения Земли вокруг Солнца). Ввиду этого наклона северное полушарие получает гораздо меньше солнечного света при прохождении по одной части орбиты и больше — при прохождении по другой части. Поэтому на Земле есть зима и лето. И поскольку экваториальным областям достается больше солнечного света, чем областям вблизи Северного или Южного полюса, теплее становится по мере того, как мы приближаемся к экватору. И аналогично: поскольку Земля вращается против часовой стрелки (с точки зрения того, кто находится на Северном полюсе), северный, полярный воздух отклоняется в сторону, двигаясь на юг, к экватору. Таким образом, перемещение горячих и холодных масс воздуха, приведенных в движение враще-

нием Земли, помогает объяснить, почему ветры обычно дуют в одном направлении — в зависимости от того, где именно на Земле мы находимся.

Словом, довольно смутные законы погоды легко понять, если взглянуть на Землю из космоса. Следовательно, для решения проблемы требуется *выйти* в космос — в *третье измерение*. Факты, непостижимые в «плоском мире», вдруг становятся очевидными, если рассматривать Землю трехмерной.

Законы тяготения и света тоже могут выглядеть так, словно между ними нет ничего общего. Они согласуются с разными физическими допущениями и математически рассчитываются по-разному. Попытки «срастить» эти две силы неизменно оказываются провальными. Но если мы добавим еще одно измерение — *пятое* — к предыдущим четырем (пространству и времени), тогда формулы, определяющие свет и тяготение, сойдутся, как два фрагмента головоломки. По сути, свет можно объяснить как вибрации в пятом измерении. При этом мы убедимся, что законы света и тяготения упростятся в пяти измерениях.

Поэтому многие физики в настоящее время убеждены, что традиционная четырехмерная теория «слишком тесна» для адекватного описания сил, характеризующих нашу Вселенную. Придерживаясь четырехмерной теории, физики вынуждены неудобным и неестественным образом «спрессовывать» силы природы. Более того, эта гибридная теория некорректна. Но, если оперировать количеством измерений, превышающих четыре, нам хватит «места», чтобы найти красивое, самодостаточное объяснение фундаментальным силам.

В части II мы развиваем эту простую мысль, подчеркивая, что теория гиперпространства, возможно, в состоянии объединить все известные законы природы в единой теории. Таким образом, теория гиперпространства способна увенчать достижения двух тысячелетий научных исследований, объединив все известные физические силы. Возможно, она подарит нам святой Грааль физики — «теорию всего», столько десятилетий ускользавшую от Эйнштейна.

На протяжении последних пятидесяти лет ученых занимал вопрос о том, почему фундаментальные силы, скрепляющие космос, — тяготение, электромагнетизм, сильное и слабое ядерное взаимодействия — так разительно отличаются друг от друга. Попытки величайших умов XX в. представить общую картину всех известных взаимодействий провалились. А теория гиперпространства дает возможность дать логичное объяснение как четырем силам природы, так и, казалось бы, беспорядочному набору субатомных частиц. В теории гиперпространства материю также можно рассматривать как вибрации, распространяющиеся в пространстве и времени. Отсюда следует захватывающее предположение: все, что мы видим вокруг, — от деревьев и гор до самих звезд — не что иное, как *вибрации в гиперпространстве*. Если это верно, значит, у нас появляется возможность элегантно и просто описать Вселенную средствами геометрии.

В части III мы рассмотрим вероятность растяжения пространства при чрезвычайных обстоятельствах, вплоть до появления в нем разрывов и прорех. Иными словами, гиперпространство может служить для прохождения сквозь пространство и время. Подчеркнем: все это лишь предположения, однако физики со всей серьезностью относятся к анализу свойств «кротовых нор», или «червоточин», — туннелей, соединяющих удаленные части пространства и времени. Например, физики Калифорнийского технологического института на полном серьезе предположили, что можно создать машину времени, представляющую собой «червоточину», которая соединяет прошлое с будущим. Машины времени уже покинули мир абстрактных рассуждений и фантазии и заняли законное место в сфере научных исследований.

Космологи даже выдвинули удивительное предположение, согласно которому наша Вселенная — лишь одна из бесконечного множества параллельных вселенных. Их можно сравнить со скоплением мыльных пузырей, зависших в воздухе. В обычных условиях контакт между этими пузырями-вселенными невозможен, но, проанализировав формулы Эйнштейна,

космологи доказали возможность существования целой сети «червоточин», или трубок, соединяющих эти параллельные вселенные. Для каждого пузыря можно дать свое конкретное определение пространства и времени, имеющее значение только на его поверхности; за пределами этих пузырей пространство и время не имеют смысла.

Несмотря на то что многие выводы из этой дискуссии остаются чисто теоретическими, путешествия в гиперпространстве, в конце концов, могут найти самое что ни на есть практическое применение: стать средством спасения разумной жизни, в том числе наших собственных жизней, от гибели Вселенной. Повсюду ученые убеждены, что любая Вселенная рано или поздно гибнет, а вместе с ней — и вся жизнь, которая эволюционировала на протяжении миллиардов лет. К примеру, согласно превалирующей теории Большого взрыва, взрыв в космосе, случившийся 15–20 млрд лет назад, стал началом расширения Вселенной, когда звезды и галактики отбрасываются и удаляются от нас на огромной скорости. Но если когда-нибудь Вселенная прекратит расширяться и начнет сокращаться, то в конце концов она схлопнется, произойдет катаклизм, получивший название Большого сжатия, и вся разумная жизнь превратится в пар под действием невероятно высоких температур. Тем не менее некоторые физики полагают, что теория гиперпространства может оказаться единственной надеждой на спасение разумной жизни. В последние секунды существования нашей Вселенной разумная жизнь может избежать коллапса, ускользнув в гиперпространство.

В части IV мы завершим разговор последним практическим вопросом: если теория верна, когда же мы сумеем поставить себе на службу силу гиперпространственной теории? Это не просто отвлеченный, сугубо теоретический вопрос: в прошлом обуздание всего одного из фундаментальных взаимодействий необратимо изменило весь ход истории человечества, подняло нас над невежеством и нищетой древнего, доиндустриального общества, довело до уровня современной цивилизации. В некотором смысле даже протяженную историю чело-

вещества можно рассматривать в новом свете, сквозь призму постепенного овладения каждым из четырех взаимодействий. История цивилизации претерпевала глубокие изменения, по мере того как каждая из этих сил была открыта и нашла применение.

Например, когда Исаак Ньютон формулировал классические законы тяготения, он разработал теорию механики, благодаря чему у нас появилось знание законов, которым подчиняются машины и механизмы. В свою очередь, это значительно ускорило промышленную революцию, а она дала толчок политическим силам, в конце концов свергнувшим феодальные династии Европы. В середине 60-х гг. XIX в., когда Джеймс Клерк Максвелл сформулировал основные законы сил электромагнитного взаимодействия, он положил начало Веку электричества, который дал нам динамо-машину, радио, телевидение, радиолокатор, домашнюю электротехнику, телефон, микроволновые печи, бытовую электронику, компьютер, лазер и много других электрических и электронных чудес. Не зная, как использовать силу электромагнитного взаимодействия, цивилизация была бы обречена на застой, задержалась бы во времени, предшествующем изобретению электрической лампочки и электродвигателя. В середине 40-х гг. XX в., когда появилась возможность эксплуатировать силу ядерного взаимодействия, мир вывело из равновесия создание атомной и водородной бомб — самого разрушительного оружия на планете. Мы еще не приблизились к единому пониманию всех космических сил, которым подчиняется Вселенная, но можем предположить, что повелевать ею сможет любая цивилизация, освоившая теорию гиперпространства.

Поскольку теория гиперпространства — это определенный набор математических формул, можно точно рассчитать, сколько именно энергии понадобится, чтобы свернуть пространство и время в «крендель» или проделать «червоточины», соединяющие отдаленные уголки нашей Вселенной. Увы, результаты вызывают разочарование. Требуемое количество энергии значительно превышает то, которым способна овла-

деть наша планета. Точнее, энергии должно быть в квадрильон раз больше, чем может дать наш самый большой ускоритель частиц. Нам придется ждать несколько столетий или даже тысячелетий, пока у нашей цивилизации не появится техническая возможность манипулировать пространственно-временным континуумом, или же надеяться на контакт с развитой цивилизацией, которая уже научилась управлять свойствами гиперпространства. Поэтому книга заканчивается рассмотрением интригующей, но гипотетической научной проблемы: какого уровня развития техники и технологии нам необходимо достичь, чтобы повелевать гиперпространством.

Так как теория гиперпространства заводит нас далеко за пределы привычных, доступных здравому смыслу представлений о пространстве и времени, в книге представлено несколько чисто гипотетических сюжетов. Прибегнуть к этому педагогическому приему меня побудила история о том, как нобелевский лауреат Исидор Айзек Раби обратился к аудитории, состоящей из физиков. Он посетовал на скверное положение в сфере обучения естественным наукам в США и упрекнул сообщество физиков за пренебрежение своим долгом, нежелание популяризировать рискованные научные начинания для широкой публики и особенно для молодежи. Он заявил, что, в сущности, авторы научно-фантастических произведений пропагандируют романтику науки гораздо успешнее, чем все физики вместе взятые.

В предыдущей книге «За пределами научной мысли Эйнштейна: Космические поиски теории Вселенной» (*Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*), написанной в соавторстве с Дженнифер Трейнер, я рассматривал теорию суперструн, рассказывал о природе субатомных частиц, подробно рассуждал о *наблюдаемой части Вселенной* и о том, что все сложности, имеющие отношение к материи, можно было бы объяснить с помощью тонких вибрирующих струн. В этой книге я раскрываю другую тему, говорю о *невидимой части Вселенной*, т. е. о сфере геометрии и пространственно-временного континуума. Предмет данного труда —

не природа субатомных частиц, а многомерный мир, в котором они, скорее всего, существуют. По ходу этого разговора читатели поймут: вместо того чтобы служить пустым и пассивным фоном для кварков, играющих свои неизменные роли, многомерное пространство, в сущности, становится главным героем пьесы.

Обсуждая захватывающую историю теории гиперпространства, мы выясним, что поиски первичной природы материи, начатые еще древними греками два тысячелетия назад, оказались долгими и запутанными. В будущем, когда историки науки напишут завершающую главу этой длинной саги, возможно, они отметят, что решающую роль сыграло крушение общепринятых теорий трех или четырех измерений и победа теории гиперпространства.

М. К.

Нью-Йорк, май 1993 г.

Благодарности

С этой книгой мне очень повезло: моим редактором стал Джеффри Роббинс. Именно он был вдохновителем трех моих предыдущих книг — учебников теоретической физики, предназначенных для научных кругов и содержащих вопросы единой теории поля, теории суперструн и квантовой теории поля. Но данная книга стала первым научно-популярным текстом, ориентированным на широкую читательскую аудиторию, которую я написал для него. Работу в тесном контакте с Джеффри я всегда ценил как редкую привилегию.

Я хочу также поблагодарить Дженнифер Трейнер, моего соавтора по двум предыдущим научно-популярным книгам. Кроме того, она приложила свои таланты к тому, чтобы сделать презентацию по возможности гладкой и последовательной.

Также я благодарен множеству людей, которые помогали править черновики книги и критиковали их, — Берту Соломону, Лесли Мередит, Юджину Моллаву и моему литературному агенту Стюарту Кричевски.

И наконец, мне хотелось бы поблагодарить за гостеприимство Институт перспективных исследований в Принстоне, где была написана немалая часть этой книги. Этот институт, где провел последние десятилетия своей жизни Эйнштейн, оказался самым подходящим местом для работы над книгой о революционных исследованиях, которые дополнили и уточнили многие новаторские труды великого ученого.

Принцип креативности присущ именно математике.
Следовательно, в известном смысле я считаю исти-
ной то, что чистая мысль способна постичь реаль-
ность, о чем мечтали древние.

Альберт Эйнштейн

ЧАСТЬ I

Знакомство с пятым измерением

1

Миры за пределами пространства и времени

Я хочу знать, как Бог сотворил этот мир. Меня не интересует то или иное явление. Я хочу знать Его мысли, остальное — частности.

Альберт Эйнштейн

Воспитание физика

Два случая из детства значительно обогатили мое понимание мира и направили меня по пути к профессии физика-теоретика.

Помню, родители иногда брали меня в знаменитый Японский чайный сад в Сан-Франциско. Одно из счастливейших воспоминаний моего детства — как я сижу на корточках у пруда, заигнотизированный видом ярких и пестрых карпов, медленно проплывающих под водяными лилиями.

В эти тихие минуты я давал волю своему воображению, задавал себе глупые вопросы, на какие способен лишь ребенок: например, каким видят окружающий мир карпы, живущие в этом пруду. Мне думалось: каким странным должен быть их мир!

Карпы, вся жизнь которых проходит в неглубоком пруду, наверняка убеждены, что их «Вселенная» состоит из мутноватой воды и лилий. Проводя большую часть времени в поис-

ках корма на дне пруда, они могут лишь смутно догадываться о том, что над поверхностью воды есть другой, чуждый им мир. И его сущность неподвластна их пониманию. Меня заинтриговала мысль о том, что, хотя я и сижу всего в нескольких дюймах от карпов, мы бесконечно далеки друг от друга. Наша жизнь протекает в двух обособленных вселенных, мы никогда не переходим из одного мира в другой, хотя и разделены тончайшей из преград — поверхностью воды.

Однажды мне представилось, что среди рыб в пруду есть и «карпы-ученые». Вот они-то, думал я, поднимут на смех любую рыбу, предположившую, что над лилиями, возможно, есть параллельный мир. Для «карпа-ученого» реально лишь то, что видит или осязает рыба. Пруд для них — все. А незримый мир за пределами пруда антинаучен.

Однажды меня застиг дождь. Я увидел, как по поверхности пруда ударили тысячи мелких капель. Вода забурлила, волны мотали лилии из стороны в сторону. Прячась под крышей от дождя и ветра, я гадал, как воспринимают происходящее карпы. С их точки зрения, водяные лилии движутся сами по себе, без постороннего вмешательства. Поскольку вода, в которой живут карпы, кажется им невидимой, совсем как нам — воздух и пространство вокруг нас, карпы наверняка озадачены способностью водяных лилий двигаться самостоятельно.

Ученые племени рыб, фантазировал я, скорее всего, маскируют свое невежество какой-нибудь хитроумной выдумкой, называя ее силой. Будучи не в состоянии понять, что могут пробегать волны по незримой поверхности, они приходят к выводу, что лилиям присуща способность двигаться, даже когда к ним не прикасаются, потому что между ними действует таинственная и невидимая сущность — некая сила. Возможно, они дают этой иллюзии внушительные, высокопарные названия (например, «дальнодействие» или «способность лилий двигаться без внешнего контакта»).

Однажды я попытался представить себе, что будет, если я суну руку в воду и вытащу одного из этих «карпов-ученых».

Он, наверное, яростно забьется, а я рассмотрю его и брошу обратно в пруд. Интересно, как воспримут это остальные карпы. Это событие, скорее всего, покажется им чем-то из ряда вон выходящим. Они впервые заметят, что один из «ученых» вдруг покинул их вселенную. Просто бесследно исчез. Поиски пропавшего карпа в рыбьей Вселенной не дадут ровным счетом никакого результата. А через несколько секунд, когда я брошу карпа обратно в пруд, «ученый» внезапно возникнет неизвестно откуда. И остальные карпы сочтут, что узрели чудо.

Опомнившись и собравшись с мыслями, «ученый» поведает остальным поистине удивительную историю. «Нежданно-негаданно, — скажет он, — неведомая сила выхватила меня из этой Вселенной (пруда) и зашвырнула в таинственный потусторонний мир со слепящими огнями и предметами причудливой формы, каких я прежде никогда не видывал. Но удивительнее всего было существо, которое удерживало меня в плену: оно не имело ни малейшего сходства с рыбой. Я был потрясен, обнаружив, что у него вообще нет плавников, тем не менее оно и без них способно передвигаться. Меня осенило, что всем известные законы природы в этом потустороннем мире неприменимы. А потом меня так же внезапно бросили обратно в нашу вселенную». (Конечно, эта история о путешествии за край Вселенной прозвучит настолько невероятно, что большинство карпов отмахнется от нее, считая полной ерундой.)

Я часто думаю о том, что мы подобны этим довольным жизнью карпам, плавающим в пруду. Мы существуем в собственном «пруду», уверенные, что наша Вселенная состоит только из тех объектов, которые можно увидеть или потрогать. Как и мир карпов, наш мир содержит лишь то, что знакомо нам и зримо. В своей самоуверенности мы отказываемся признать, что по соседству с нашей Вселенной, но за пределами нашей досягаемости есть параллельные вселенные или измерения. Если наши ученые придумывают, к примеру, концепции силы, то лишь потому, что не могут представить

себе незримые вибрации, наполняющие пустое пространство вокруг нас. При упоминании высших измерений некоторые ученые иронически усмеваются, так как эти измерения невозможно изучать в лаборатории.

С тех самых пор меня увлекла мысль о возможности существования других измерений. Подобно большинству детей, я зачитывался приключенческой литературой, в которой путешественники во времени проникали в другие измерения и открывали незримые параллельные миры, где действие обычных законов физики можно было приостановить ради удобства. Я размышлял, действительно ли корабли в Бермудском треугольнике таинственным образом исчезают в пространственной дыре; я восхищался циклом Айзека Азимова «Основание» (Foundation), в котором открытие путешествий в гиперпространстве привело к появлению галактической империи.

Второй случай из детства тоже произвел на меня глубокое и неизгладимое впечатление. В возрасте восьми лет я услышал одну историю, память о которой сохранил на всю жизнь. Мне запомнилось, как учителя рассказывали классу о только что умершем великом ученом. О нем отзывались со всей почтительностью, его называли величайшим гением в истории человечества. Говорили, что лишь немногие способны понять его идеи, но его открытия преобразили весь мир, все, что нас окружает. Из того, что нам пытались растолковать, я уловил немного, но был особенно заинтригован тем, что этот человек умер, не успев завершить свое главное открытие. Над этой теорией он работал много лет, но умер, оставив на столе незаконченную рукопись.

Этот рассказ заворожил меня. Ребенком я видел в нем великую тайну. Какую работу он не успел закончить? Что было в рукописи у него на столе? Насколько важной и трудной должна быть проблема, чтобы такой выдающийся ученый посвятил ей целые годы своей жизни? Любопытство побуждало меня узнавать все, что только можно, об Альберте Эйнштейне и его незаконченной теории. До сих пор с нежностью вспоминаю о том, сколько тихих часов провел, читая

все, что мог найти, о великом ученом и его теориях. Исчерпав запасы ближайшей библиотеки, я продолжал прочесывать библиотеки и книжные магазины всего города, старательно выискивая новые сведения. Вскоре выяснилось, что эта история гораздо увлекательнее любого детектива и намного значительнее, чем можно было представить. Я решил, что попытаюсь докопаться до истины, даже если ради этого мне придется стать физиком-теоретиком.

Вскоре выяснилось, что незаконченная рукопись на столе Эйнштейна была попыткой создать так называемую единую теорию поля — теорию, которая объяснила бы все законы природы применительно как к мельчайшей частице, так и к самой большой галактике. Но в детстве я не понимал, что, возможно, между карпом, плавающим в пруду чайного сада, и незаконченной рукописью на столе Эйнштейна есть связь. И не подозревал, что высшие измерения могут оказаться ключом к разгадке единой теории поля.

Позднее, в старших классах школы, я перечитал почти все, что нашел в ближайших библиотеках, и часто навещался в библиотеку факультета физики Стэнфордского университета. Там я узнал, что Эйнштейн допускал возможность существования антиматерии, или антивещества, — новой субстанции, которая ведет себя как обычная материя, но при контакте с ней аннигилируется с выбросом энергии. Кроме того, я узнал, что ученые сконструировали огромные машины, так называемые «ускорители частиц», благодаря которым можно получать микроскопические количества этой экзотической субстанции в лабораторных условиях.

Одно из преимуществ ранней молодости в том, что ей не страшна мирская ограниченность, которая обычно оказывается непреодолимой для большинства взрослых. Не оценив возможных препятствий, я поставил перед собой цель самостоятельно сконструировать ускоритель частиц. Я изучал научную литературу, пока не пришел к убеждению, что сумею собрать бетатрон, способный разгонять электроны до миллионов электронвольт. (Миллион электронвольт — энергия, кото-

рую приобретают электроны, ускорившиеся в поле, созданном разностью потенциалов в миллион вольт.)

Первым делом я приобрел немного натрия-22, который радиоактивен и естественным образом излучает позитроны (аналог электронов в антиматерии). Затем сконструировал так называемую «камеру Вильсона», в которой следы субатомных частиц становятся видимыми. Мне удалось сделать сотни прекрасных снимков следов, которые оставляет антиматерия. Потом я принялся промышлять вокруг крупных складов электроники и собирать необходимые детали и оборудование, в том числе сотни фунтов лома трансформаторной стали, и построил в гараже бетатрон на 2,3 млн эВ — достаточно мощный, чтобы произвести пучок позитронов. Для изготовления гигантских магнитов, необходимых для бетатрона, я убедил родителей помочь мне намотать 22 мили (около 35 км) медной проволоки на школьном футбольном стадионе. Рождественские каникулы мы провели на 50-ярдовой линии поля, наматывая и собирая массивные катушки, вызывающие искривление траекторий быстрых электронов.

Получившийся бетатрон весом 300 фунтов (около 136 кг) и мощностью 6 кВт полностью потреблял всю энергию в доме. Когда я включал его, все предохранители обычно вылетали, дом внезапно погружался во тьму. Наблюдая за тем, как в доме периодически воцаряется мрак, мама только качала головой. (Мне казалось, она теряет в догадках, за что ей достался ребенок, который, вместо того чтобы играть в бейсбол или баскетбол, сооружает в гараже какие-то громоздкие электрические машины.) К моей радости, машина успешно создала магнитное поле, в 20 тысяч раз превосходящее по мощности магнитное поле Земли и необходимое для ускорения пучка электронов.

Столкновение с пятым измерением

Наша семья была бедной, поэтому мои родители опасались, что я не сумею продолжить эксперименты и учебу. К счастью,

награды, которых удостоились мои исследовательские проекты, привлекли внимание ученого-атомщика Эдварда Теллера. Его жена великодушно помогла мне получить стипендию для четырехлетнего обучения в Гарварде, благодаря чему я осуществил свою мечту.

Парадокс, но хотя в Гарварде я начал официально изучать теоретическую физику, именно там постепенно угасло мое увлечение многомерностью. Подобно другим физикам, я начал с подробной и всесторонней программы изучения высшей математики каждой из сил природы по отдельности, рассматривая их как совершенно обособленные друг от друга. До сих пор помню, как решал задачу по электродинамике для моего преподавателя, а потом спросил его, как могло бы выглядеть решение, если бы в высшем измерении пространство было искривлено. Преподаватель посмотрел на меня странно, словно сомневался, что я в своем уме. Вскоре я научился абстрагироваться от своих прежних детских представлений о пространстве высших измерений, как делали многие до меня. Мне объяснили, что гиперпространство — неподходящий предмет для серьезных исследований.

Этот непоследовательный подход к физике меня не устраивал, мыслями я часто возвращался к карпам, живущим в чайном саду. Несмотря на то что формулы для электричества и магнетизма, которыми мы пользовались и которые были выведены Максвеллом в XIX в., оказывались на удивление полезными, выглядели они весьма условными. Мне казалось, что физики (совсем как карпы) выдумали эти «силы», чтобы замаскировать наше невежество, отсутствие у нас представлений о том, как одни объекты могут вызывать перемещение других при отсутствии непосредственных контактов.

Во время учебы я узнал, что в XIX в. предметом наиболее бурных споров было распространение света в вакууме. (Свет звезд способен без труда преодолевать триллионы триллионов миль в вакууме космического пространства.) Эксперименты также подтвердили: вне всякого сомнения, свет — это волна. Но если свет — волна, значит, что-то должно «волноваться».

Звуковым волнам нужен воздух, волнам в воде — вода, а поскольку в вакууме волнам образовываться негде, получается парадокс. Как свет может быть волной, если нечему волнообразно колебаться? В итоге физики придумали вещество под названием эфир, которое заполняет вакуум и действует как среда для распространения света. Однако эксперименты убедительно доказали, что «эфира» не существует*.

И наконец, во время учебы в аспирантуре Калифорнийского университета в Беркли я совершенно случайно узнал, что существует и другое, хоть и спорное объяснение, каким образом свет может перемещаться в вакууме. Эта альтернативная теория выглядела настолько бредовой, что знакомство с ней стало для меня потрясением. Подобный шок испытали многие американцы, впервые услышав, что президента Джона Кеннеди застрелили. При этом все они запомнили, в какой именно момент слышали шокирующее известие, что при этом делали, с кем говорили. Мы, физики, тоже испытываем серьезный шок, когда впервые сталкиваемся с теорией Калуцы–Клейна. Поскольку эту теорию долгое время считали спекуляцией и домыслом, в учебные программы она никогда не входила, молодым физикам представлялась возможность открыть ее для себя случайно в процессе чтения внеучебных материалов.

Эта альтернативная теория дала свету простейшее объяснение: на самом деле свет — вибрация пятого измерения, или, как его называли мистики, — четвертого. Если свет и способен распространяться в вакууме, то лишь благодаря вибрации самого вакуума, так как в действительности «вакуум» существует в четырех пространственных измерениях и одном временном. Добавляя пятое измерение, силу тяжести и свет можно объединить на удивление простым способом. Вспоминая о впечатлениях, полученных в детстве в чайном саду, я вдруг понял, что это и есть математическая теория, которую я искал.

* Как ни странно, даже у современных физиков по-прежнему нет однозначного решения этой задачи, однако за несколько десятилетий мы просто свыклись с мыслью, что свет может перемещаться в вакууме, хотя в нем и нечему совершать волнообразные колебания. — *Прим. авт.*

Исходная теория Калуцы–Клейна в силу технических трудностей более полувека оставалась бесполезной. Однако в последние десять лет ситуация изменилась. Более совершенные варианты теории, такие как теория супергравитации и особенно теория суперструн, наконец устранили ее неувязки. Чуть ли не в одночасье теорию многомерности начали отстаивать и продвигать в исследовательских лабораториях всей планеты. Многие ведущие физики мира признали, что могут существовать и другие измерения, помимо обычных четырех пространственных и одного временного. Эта идея была в центре внимания интенсивных научных исследований. Многие физики-теоретики в настоящее время придерживаются мнения, что исследования многомерности могут стать решающим шагом к созданию всеобъемлющей теории, объединяющей законы природы, — теории гиперпространства.

Если это предположение окажется справедливым, будущие историки науки, скорее всего, смогут утверждать, что одной из великих концептуальных революций XX в. стало понимание, что гиперпространство может оказаться ключом, открывающим самые сокровенные тайны природы и всего сущего.

Из искры этой основополагающей концепции родилось пламя множества научных исследований: несколько тысяч статей, написанных физиками-теоретиками из крупнейших лабораторий мира, были посвящены изучению свойств гиперпространства. Страницы двух ведущих научных журналов — *Nuclear Physics* и *Physics Letters* — заполнились статьями с анализом самой теории. Было проведено более 200 международных физических конференций с целью выявления значения многомерности.

К сожалению, мы все еще далеки от экспериментального подтверждения идеи, что наша Вселенная многомерна. (О том, что именно потребовалось бы для обоснования теории и, возможно, управления мощностью гиперпространства, мы поговорим далее в этой книге.) Так или иначе, в настоящее время эта теория решительно утвердилась на позициях законной отрасли современной теоретической физики. К примеру, Институт

перспективных исследований в Принстоне, где Эйнштейн провел последние десятилетия своей жизни (и где была написана данная книга), в настоящее время является одним из центров активных исследований многомерного пространства-времени.

Стивен Вайнберг, удостоенный Нобелевской премии по физике в 1979 г., подытожил эту концептуальную революцию, сравнительно недавно заметив, что теоретическая физика приобретает все большее сходство с научной фантастикой.

Почему мы не видим высшие измерения?

Поначалу все эти революционные идеи кажутся нам странными, поскольку трехмерность окружающего нас повседневного мира мы принимаем как данность. Как отмечал ныне покойный физик Хайнц Пейджелс, «одна из характеристик нашего физического мира настолько очевидна, что никогда не ставит в тупик большинство людей, — это факт трехмерности пространства»¹. Почти интуитивно мы понимаем, что любой предмет можно описать с помощью его длины, ширины и высоты. Указав три числа, можно определить положение любой точки в пространстве. Когда мы хотим увидеться с кем-нибудь за обедом в Нью-Йорке, то говорим: «Встречаемся на 24-м этаже здания на углу 42-й улицы и Первой авеню». Два числа указывают конкретное пересечение улиц, третье — высоту над землей.

Пилоты самолетов тоже определяют свое точное местонахождение с помощью трех чисел — высоты и двух координат на сетке или карте. В сущности, указания трех чисел достаточно, чтобы найти любую точку на планете — от кончика нашего носа до пределов обозримого мира. Это понимают даже дети: эксперименты с младенцами показали, что, приблизившись к краю обрыва и заглянув туда, они ползут обратно. Малыши инстинктивно понимают смысл не только понятий «лево», «право», «вперед» и «назад», но и «вверх» и «вниз». Следова-

тельно, интуитивное представление о трех измерениях прочно запечатлено в нашем мозгу с раннего детства.

Эйнштейн развил эту концепцию и включил в нее время как четвертое измерение. К примеру, чтобы увидеться с кем-нибудь за обедом, мы должны также указать время: допустим, сказать, что встречаемся в половину первого на Манхэттене; иначе говоря, чтобы определить конкретное событие, нам требуется его четвертое измерение — *время*, в которое это событие происходит.

Современных ученых привлекает возможность выйти за рамки концепции четвертого измерения по Эйнштейну. Предмет нынешнего научного интереса — пятое измерение (пространственное, находящееся за пределами временного и трех общеизвестных пространственных) и далее. (Во избежание путаницы повсюду в этой книге я в соответствии с принятой практикой называю четвертое измерение *пространственным* измерением, помимо длины, высоты и ширины. Физики обычно считают это измерение пятым, но я намерен придерживаться исторической последовательности. Четвертым *временным* измерением мы будем называть время.)

Каким мы видим четвертое пространственное измерение?

Проблема в том, что никаким. Пространства высших измерений невозможно вообразить, напрасными оказываются любые попытки. Выдающийся немецкий физик Герман фон Гельмгольц сравнивал неспособность «увидеть» четвертое измерение с неспособностью слепого понять, что такое цвет. Как бы красноречиво мы ни объясняли слепому, что такое «красный», слова не в состоянии передать все богатство смысловых оттенков такого понятия, как цвет. Даже опытные математики и физики-теоретики, годами работающие с многомерностью, признаются, что не могут визуализировать высшие измерения. Вместо этого они углубляются в мир математических формул. Но если математики, физики и компьютеры без проблем решают уравнения для многомерного пространства, люди в массе своей не могут представить себе иные вселенные, помимо нашей собственной.

В лучшем случае мы можем пользоваться разнообразными математическими фокусами, изобретенными математиком и мистиком Чарльзом Хинтоном на рубеже XX в., чтобы представлять себе тени или проекции многомерных объектов. Другие математики, подобно Томасу Банчоффу, главе кафедры математики Университета Брауна, написали компьютерные программы, позволяющие манипулировать многомерными объектами, отбрасывающими тени на плоскую, двумерную поверхность компьютерных экранов. Греческий философ Платон сравнивал с людьми с пещерными жителями, обреченными видеть только размытые серые тени того богатства жизни, которое находится за пределами наших пещер, — так и компьютеры Банчоффа позволяют лишь мельком взглянуть на тени многомерных объектов. (В действительности мы не в состоянии вообразить высшие измерения из-за трагического стечения обстоятельств в процессе эволюции. Наш мозг эволюционировал таким образом, чтобы справляться с множеством экстренных ситуаций в трех измерениях. Мгновенно, даже не задумываясь, мы распознаем прыжок льва или нападение слона и реагируем на них. По сути дела, те люди, которые лучше представляли себе, как движутся, поворачиваются, изгибаются объекты в трех измерениях, имели несомненное преимущество и выживали чаще, чем те, кто не мог себе этого представить. К сожалению, не существовало давления естественного отбора, которое побуждало бы людей учиться воспринимать движение в четырех пространственных измерениях. Умение видеть четвертое пространственное измерение определенно не помогло бы никому отразить нападение саблезубого тигра. Львы и тигры не бросаются на нас через четвертое измерение.)

В высших измерениях законы природы проще

Поддразнивать слушателей идеей многомерности вселенных любит Питер Фройнд, профессор теоретической физики зна-

менитого Института Энрико Ферми при Чикагском университете. Фройнд был одним из первопроходцев, работавшим над теориями гиперпространства еще тогда, когда физики считали их бредовыми. Годами Фройнд и небольшая группа ученых занимались наукой высших измерений, находясь в изоляции, теперь же она наконец вошла в моду и узаконена в сфере научных исследований. К удовольствию Фройнда, его раннее увлечение оправдало себя.

Фройнд не вписывается в традиционные представления об ограниченном, неотесанном и неряшливом ученом. Это вежливый, воспитанный, интеллигентный человек с проказливой, лукавой улыбкой, завораживающий далеких от науки слушателей увлекательными рассказами о стремительном прогрессе в сфере научных открытий. Фройнд с одинаковой легкостью испещряет доску формулами и ведет непринужденную светскую беседу на вечеринке с коктейлями. Фройнд говорит с заметным и благородным румынским акцентом, он обладает редким талантом объяснять самые мудреные, замысловатые физические концепции живым, увлекательным языком.

Фройнд напоминает нам, что по сложившейся традиции физики скептически относились к высшим измерениям потому, что их нельзя измерить, вдобавок у них нет конкретного применения. Но в настоящее время в среде ученых растет понимание того, что любая трехмерная теория «слишком ограничена» для описания сил, управляющих нашей Вселенной.

Как подчеркивает Фройнд, лейтмотивом физики последнего десятилетия стало то, что *законы природы формулируются проще и яснее, когда они выражены в высших измерениях*, т. е. в тех измерениях, в которых они действуют. Для законов света и гравитации находится естественное выражение, если рассматривать их в многомерном пространственно-временном континууме. Главное в объединении законов природы — увеличивать количество измерений пространства и времени до тех пор, пока все силы не будут объединены в рамках одного теоретического подхода. В высших измерениях нам хватает «места» для объединения всех известных физических сил.

Объясняя, почему высшие измерения завладели воображением ученых, Фройнд прибегает к следующей аналогии: «Представьте себе гепарда — прекрасное животное с гладкими, обтекаемыми формами, одно из самых быстрых на Земле, свободно передвигающееся по африканским саваннам. В своей естественной среде обитания это великолепное животное, практически шедевр природы, превосходит в скорости и грациозности всех прочих». И продолжает:

А теперь представьте, что гепарда поймали и посадили в тесную клетку в зоопарке. Он утратил присущую ему грацию и красоту, его выставили напоказ, чтобы развлечь нас. Мы видим лишь сломленный дух гепарда в клетке, а не силу и элегантность, которыми он обладал прежде. Этого гепарда можно сравнить с законами физики, прекрасными в их естественной среде. А естественная среда обитания законов физики — многомерное пространство-время. Но оценить законы физики количественно мы можем лишь в том случае, если они нарушены, посажены напоказ в «клетку», т. е. в нашу трехмерную лабораторию. Этого гепарда мы видим уже лишенным грации и красоты².

На протяжении десятилетий физики гадали, почему четыре силы природы выглядят настолько обособленными, почему у «гепарда в клетке» такой жалкий и сломленный вид. Основная причина, по которой эти четыре силы настолько разнородны, отмечает Фройнд, заключается в том, что мы наблюдали за «гепардом в клетке». Наши трехмерные лаборатории — стерильные клетки зоопарка для законов физики. Формулируя эти же законы в многомерном пространстве-времени, их естественной среде обитания, мы видим их истинное великолепие и силу, законы становятся простыми и могущественными. Революция, захлестнувшая физику в настоящее время, — это осознание того, что естественная среда обитания нашего «гепарда» — гиперпространство.

Для того чтобы показать, каким образом введение высшего измерения способствует упрощению, представим себе,

как велись масштабные войны во времена Древнего Рима. Великие римские войны зачастую разворачивались на множестве небольших полей и неизменно сопровождались невероятной путаницей, на противников со всех сторон сыпались разные слухи и дезинформация. Когда бои велись на нескольких фронтах, римские военачальники нередко действовали вслепую. Рим чаще побеждал в этих битвах за счет грубой силы, а не элегантной стратегии. Вот почему одним из первых принципов военного дела стал захват возвышенностей, высот, т. е. переход *вверх*, в третье измерение, над двумерным полем боя. Для человека, занимающего точку обзора на высоком холме, откуда открывалась панорама поля боя, хаос войны выглядел гораздо менее катастрофично. Иначе говоря, наблюдаемая из третьего измерения (т. е. с вершины холма) неразбериха на полях сражений выстраивается в единую связную картину.

Еще одно применение того же принципа, согласно которому природа, выраженная в высших измерениях, упрощается, занимает центральное место в специальной теории относительности Эйнштейна. Он обнаружил, что время является четвертым измерением, и продемонстрировал, что пространство и время легко объединить в теории четырех измерений. Это, в свою очередь, неизбежно повлекло за собой объединение всех физических величин, определяемых пространством и временем, например материи и энергии. Затем Эйнштейн нашел точное математическое выражение этого единства материи и энергии: $E = mc^2$ — вероятно, самую известную из всех научных формул*.

Для того чтобы оценить колоссальное значение этого объединения, опишем четыре фундаментальные силы, подчеркивая их различия, а также то, каким образом высшие измерения могут дать нам объединяющую систему формул. За последние 2000 лет ученые обнаружили, что все явле-

* Безусловно, теория высших измерений не относится к сугубо отвлеченным, так как простейшее следствие теории Эйнштейна — атомная бомба, изменившая судьбы человечества. В некотором смысле введение высших измерений стало одним из кардинальных научных открытий в нашей истории. — *Прим. авт.*

ния в нашей Вселенной можно свести к четырем силам, или взаимодействиям, на первый взгляд не имеющим никакого сходства друг с другом.

Сила электромагнитного взаимодействия

Сила электромагнитного взаимодействия может приобретать разнообразные формы, к которым относятся электричество, магнетизм и собственно свет. Электромагнитная сила освещает наши города, наполняет воздух музыкой радиоприемников и стереосистем, развлекает нас телевидением, избавляет от домашней работы благодаря бытовым электроприборам, подогревает нашу еду в микроволновках, следит за нашими самолетами и космическими аппаратами с помощью радаров, приводит в действие системы электростанций, вырабатывающих энергию. Сравнительно недавно сила электромагнитного взаимодействия стала применяться в электронно-вычислительных устройствах — компьютерах, которые произвели революцию в офисах, домах, школах и в армии, а также в лазерах, благодаря которым открылись новые перспективы в сферах коммуникации, в хирургии, в производстве лазерных дисков, новейшего вооружения Пентагона и даже в работе магазинных касс. Более половины валового национального продукта планеты, представляющего собой всю совокупность ее богатств, в том или ином отношении зависит от силы электромагнитного взаимодействия.

Сильное ядерное взаимодействие

Сильное ядерное взаимодействие дает энергию, которая служит топливом звездам: благодаря ей звезды сияют, образуются яркие живительные лучи Солнца. Если бы сильное ядерное взаимодействие внезапно исчезло, Солнце потемнело бы, прекратилась бы вся жизнь на Земле. Некоторые ученые считают, что динозавры вымерли 65 млн лет назад, когда осколки, образовавшиеся при столкновении Земли с кометой, отлетели

в верхние слои атмосферы, погрузили мир во мрак и вызвали резкое снижение температуры на планете. Парадоксально, но то же самое сильное ядерное взаимодействие способно отнять дар жизни. Выпущенная на волю с помощью водородной бомбы, эта сила может когда-нибудь уничтожить все живое на планете.

Слабое ядерное взаимодействие

Сила слабого ядерного взаимодействия обуславливает некоторые виды радиоактивного распада. Поскольку радиоактивные вещества при распаде выделяют тепло, слабое ядерное взаимодействие вносит свой вклад в нагревание радиоактивных пород в глубинных слоях планеты. Благодаря в том числе и этому нагреванию действуют вулканы; во время редких, но мощных извержений расплавленные породы достигают поверхности земли. Силы слабого и электромагнитного взаимодействий применяются для лечения тяжелых заболеваний: радиоактивный йод уничтожает опухоли щитовидной железы и помогает бороться с некоторыми видами рака. Сила радиоактивного распада может быть и губительной: она стала причиной серьезного ущерба при авариях на Чернобыльской АЭС и АЭС «Три-Майл-Айленд». Кроме того, результатом действия этой силы становятся радиоактивные отходы — неизбежный побочный продукт производства ядерного оружия и работы атомных электростанций — продукт, способный причинять вред на протяжении миллионов лет.

Сила тяжести

Сила гравитационного взаимодействия не дает Земле и другим планетам сойти с орбит и скрепляет галактику. Без силы земного тяготения вращение планеты отбрасывало бы нас в космос словно тряпичных кукол. Воздух, которым мы дышим, быстро улетучился бы в космос, а мы умерли бы от удушья, жизнь на Земле сделалась бы невозможной. Без гравитационной силы Солнца все планеты, в том числе и Земля, были бы

выброшены из Солнечной системы в холодные космические дали, где солнечный свет слишком слаб, чтобы способствовать жизни. В сущности, без силы гравитационного взаимодействия взорвалось бы и само Солнце. Солнце — это результат точного уравнивания силы гравитации, стремящейся сжать эту звезду, и силы ядерного взаимодействия, стремящейся разорвать ее. Если бы не гравитация, Солнце взорвалось бы, как триллионы триллионов водородных бомб.

В настоящее время основной задачей, стоящей перед теоретической физикой, является объединение этих четырех сил в одну. Начиная с Эйнштейна, титаны физики XX в. пытались найти метод такого объединения и при каждой попытке терпели фиаско. Возможно, решение, которое ускользало от Эйнштейна последние 30 лет его жизни, находится в гиперпространстве.

В поисках объединения

Однажды Эйнштейн сказал: «Природа показывает нам только львиный хвост. Но я нисколько не сомневаюсь в том, что этот хвост принадлежит льву, хотя увидеть его целиком невозможно ввиду колоссальных размеров»³. Если Эйнштейн прав, тогда, вероятно, четыре силы — это «львиный хвост», а многомерное пространство-время — сам «лев». Эта идея пробудила надежду, что физические законы Вселенной, описанные в книгах, заполненных таблицами и графиками, удастся когда-нибудь объяснить с помощью единственной формулы.

Центральная мысль этой революционной концепции Вселенной состоит в том, что в основе единства Вселенной, возможно, лежит многомерная *геометрия*. Говоря попросту, материя во Вселенной и силы, которые не дают ей разлететься и придают ошеломляющее, бесконечное разнообразие замысловатых форм, могут оказаться не чем иным, как различными вибрациями гиперпространства. Однако эта концепция идет вразрез с традиционными представлениями ученых, рас-

смаатривающих пространство и время всего лишь как сцену, на которой главные роли исполняют звезды и атомы. Зримая, материальная Вселенная кажется ученым бесконечно более богатой и разнообразной, нежели пустая неподвижная арена незримой Вселенной пространства-времени. Исторически сложилось, что почти все интенсивные исследования в физике частиц и солидные вливания государственных средств в конце концов приводили к систематизации свойств субатомных частиц, таких как «кварки» и «глюоны», а не к постижению природы геометрии. Но теперь до ученых постепенно доходит, что «никчемные» концепции пространства и времени могут оказаться первоисточником красоты и простоты в природе.

Первая теория многомерности получила название теории Калуцы–Клейна в честь двух ученых, предложивших новую теорию гравитации, согласно которой свет можно объяснить вибрациями в пятом измерении. Примененные к N -мерному пространству (где N — любое целое число), кажущиеся нескладными теории субатомных частиц вдруг приобретают поразительную гармоничность. Однако старая теория Калуцы–Клейна не определяет точную величину N , вдобавок при описании всех субатомных частиц возникают технические сложности. У более совершенного варианта этой теории, названной *теорией супергравитации*, тоже есть недостатки. Интерес к этой теории вспыхнул в 1984 г. с подачи физиков Майкла Грина и Джона Шварца, доказавших последовательность наиболее совершенного варианта теории Калуцы–Клейна, названного *теорией суперструн* и утверждающего, что вся материя состоит из мельчайших колеблющихся струн. Удивительно, но теория суперструн предсказывает точное количество пространственно-временных измерений — десять*.

* Фройнд усмехается при вопросе о том, когда мы наконец увидим эти дополнительные измерения. Мы не можем видеть высшие измерения потому, что они «скручены» в настолько крошечный шарик, что в таком виде их уже не различить. Согласно теории Калуцы–Клейна размер этих скрученных измерений называется *планковской длиной*⁴, она в 100 миллиардов миллиардов (квинтиллион) раз меньше размера протона, т. е. слишком мала для изучения с помощью даже самых больших ускорителей частиц, какими мы располагаем. Специалисты в области физики высоких энергий надеялись, что Сверхпроводящий суперколлай-

Преимущество десятимерного пространства заключается в том, что нам «хватает места» для размещения всех четырех фундаментальных сил. Более того, мы получаем простую физическую картину для объяснения беспорядочной мешанины субатомных частиц, сведения о которых получены с помощью наших мощных ускорителей. За последние 30 лет сотни субатомных частиц были выявлены физиками среди осколков, полученных при столкновении протонов и электронов с атомами, тщательно классифицированы и изучены. Как и энтомологи, педантично дающие названия бесчисленным насекомым, физики порой сталкиваются с огромным разнообразием и сложностью этих субатомных частиц. В настоящее время согласно теории гиперпространства это невероятное собрание субатомных частиц может объясняться просто как вибрации.

Путешествие сквозь пространство и время

Теория гиперпространства также привела к пересмотру вопроса о том, можно ли с помощью гиперпространства совершать путешествия сквозь пространство и время. Для понимания этой концепции представим себе популяцию мелких плоских червячков, живущих на поверхности большого яблока. Для этих червячков очевидно, что их мир, который они называют Яблокомиром, плоский и двумерный, как они сами. Но один червячок по имени Колумб одержим мыслью, что Яблокомир конечен и, загибаясь, переходит в другое измерение, которое Колумб называет «третьим». Он даже придумывает два новых слова — «верх» и «низ» — специально для описания движения в этом незримом третьем измерении. Но друзья потешаются над Колумбом за упрямую веру в то, что Яблокомир может переходить в некое неизвестное измерение, которое никто не может увидеть или пощупать.

дер стоимостью \$11 млрд (ССК, строительство которого было отменено конгрессом в октябре 1993 г.) косвенным образом поможет им увидеть слабые проблески гиперпространства. — *Прим. авт.*

Однажды Колумб пускается в долгое и трудное путешествие и скрывается за горизонтом. В конце концов он возвращается в исходную точку, стремясь доказать, что его мир действительно описывает кривую линию в невидимом третьем измерении. Его путешествие подтверждает, что Яблокомир действительно описывает кривую и переходит в невидимое третье измерение. Несмотря на усталость после путешествия, Колумб обнаруживает, что есть и другой способ преодолеть расстояние между удаленными друг от друга точками на яблоке: вгрызаясь в яблоко, можно проделать в нем туннель и таким образом создать удобный путь напрямик в дальние края. Такие туннели, благодаря которым путешествия становятся гораздо более удобными и менее продолжительными, Колумб называет *червоточинами*. Они свидетельствуют о том, что кратчайший путь между двумя точками — не обязательно прямая линия, как его учили, а червоточина.

Колумб обнаруживает необычный эффект: когда он входит в такой туннель и выходит из него с другой стороны, то попадает в прошлое. По-видимому, червоточины соединяют части яблока, где время движется с разной скоростью. Некоторые червячки даже утверждают, что червоточины можно превратить в действующую машину времени.

Затем Колумб совершает еще более значительное открытие: оказывается, его Яблокомир — не единственный во Вселенной. Это лишь одно из яблок в огромном яблоневоом саду. Колумб узнает, что его яблоко сосуществует с сотнями других, на одних живут такие же червячки, как он сам, другие необитаемы. Колумб предполагает, что при определенных обстоятельствах можно даже совершать путешествие на другое яблоко того же сада.

Мы, люди, уподобляемся этим червячкам. Здравый смысл твердит, что наш мир, как для них — яблоко, плоский и трехмерный. Куда бы мы ни отправились в ракете, Вселенная кажется плоской. Но на самом деле наша Вселенная, подобно Яблокомиру, описывает кривую, переходя в невидимое измерение, находящееся за пределами нашего восприятия про-

странства, экспериментально подтвержденного рядом скрупулезных экспериментов. Эти эксперименты, в ходе которых прослеживался путь световых лучей, показали, что свет звезд при движении по Вселенной изгибается.

Многосвязные вселенные

Проснувшись утром и открывая окно, чтобы впустить свежий воздух, мы рассчитываем увидеть двор своего дома. И никак *не* предполагаем обнаружить возвышающиеся перед нами египетские пирамиды. Подобно этому, когда мы открываем дверь, мы готовы увидеть автомобили на улице, а не кратеры и потухшие вулканы на безжизненном лунном ландшафте. Даже не задумываясь, мы подразумеваем, что можно открывать окна или двери и не опасаться, что увиденное перепугает нас до смерти. К счастью, наш мир — не фильм Стивена Спилберга. Мы действуем в соответствии с глубоко укорененным (и неизменно верным) предубеждением, что наш мир *односвязный*, что наши окна и двери — не входы в «червоточины», соединяющие наш дом с далекими вселенными. (В обычном пространстве веревочную петлю всегда можно затянуть в точку. Если это возможно, такое пространство называется односвязным. Но если петля помещена вокруг устья «червоточины», ее нельзя стянуть в точку. При этом веревка попадет в «червоточину». Такие пространства, где веревочные петли невозможно стянуть, называются *многосвязными*. Хотя изгиб нашей Вселенной в месте ее перехода в невидимое измерение экспериментально подтвержден, вопросы о существовании «червоточин» и многосвязности нашей Вселенной, по-прежнему остаются предметами научных споров.)

Математики со времен Георга Бернхарда Римана изучали свойства многосвязных пространств, в которых соединены различные области пространства и времени. Физики, некогда считавшие эти задачи всего лишь упражнением для ума, теперь со всей серьезностью относятся к исследованию многосвязных

миров как практической модели нашей Вселенной. Эти модели представляют собой научный аналог зеркала Алисы. Когда Белый Кролик у Льюиса Кэрролла падает в нору, чтобы попасть в Страну чудес, на самом деле он падает в «червоточину».

«Червоточины» можно наглядно представить с помощью листа бумаги и ножниц. Возьмите бумагу, прорежьте в ней два отверстия, а затем соедините их длинной трубкой (рис. 1.1). Если обходить «червоточины» стороной, наш мир выглядит совершенно обычным. И подчиняется обычным законам гео-

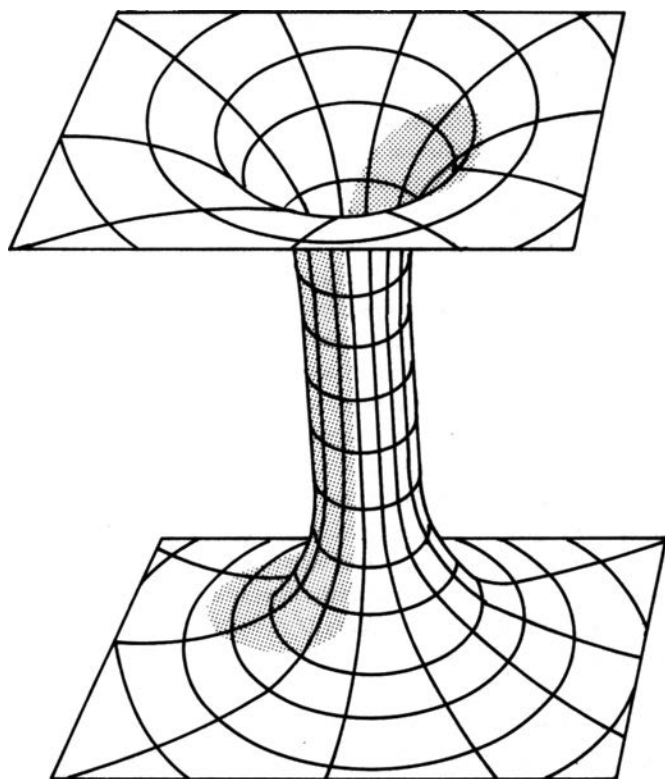


Рис. 1.1. Параллельные вселенные можно наглядно представить как две параллельные плоскости. При обычных условиях они не пересекаются. Но иногда между ними могут открываться «червоточины», или туннели, предоставляя возможность связи между ними и перемещения. В настоящее время этот предмет вызывает живой интерес в кругах физиков-теоретиков

метрии, которые изучают в школе. Но, угодив в «червоточину», мгновенно попадаешь в другую область пространства-времени. Только вернувшись обратно и выбравшись из «червоточки», можно снова очутиться в привычном мире.

Путешествия во времени и дочерние вселенные

«Червоточины» — увлекательная область исследований, но, вероятно, наиболее волнующая тема в дискуссии о гиперпространстве — это вопрос путешествий во времени. В фильме «Назад в будущее» (Back to the Future) Майкл Джей Фокс путешествует во времени и встречается своих родителей еще совсем молодыми, до того как они поженились. К несчастью, мать главного героя влюбляется в него самого и отвергает его отца, в итоге возникает щекотливый вопрос: как появился герой, если его родители так и не поженились и не обзавелись детьми?

Обычно ученые придерживаются невысокого мнения о тех, кто поднимает вопрос о путешествиях во времени. Каузальность, или причинно-следственная связь (представление, согласно которому каждому следствию предшествует причина, а не наоборот), прочно обосновалась в современной науке. Однако в физике «червоточин» нередко обнаруживается влияние «некаузальности». В сущности, нам приходится крепко держаться за привычные допущения, чтобы препятствовать путешествиям во времени. Основная проблема заключается в том, что «червоточины» могут соединять не только две удаленные точки пространства, но и будущее с прошлым.

В 1988 г. физик Кип Торн из Калифорнийского технологического института вместе с коллегами сделал поразительное (и рискованное) заявление: путешествия во времени не просто возможны, но и вполне вероятны при определенных условиях. Свое заявление эти ученые опубликовали не в каком-нибудь малоизвестном «маргинальном» издании, а в престижном журнале *Physical Review Letters*. Так впервые авторитетные физики, а не какие-то безумцы, высказали гипотезу об измене-

нии хода самого времени. В ее основе лежало простое наблюдение: «червоточина» соединяет две области, существующие в разных периодах времени. Таким образом, «червоточина» может связывать настоящее с прошлым. Поскольку путешествие сквозь «червоточину» происходит почти мгновенно, можно было бы с помощью «червоточин» перемещаться назад во времени. В отличие от приспособления, описанного в романе Герберта Уэллса «Машина времени» и способного забросить героя на сотни тысяч лет в далекое будущее Англии после простого поворота стрелки на циферблате, для создания «червоточины» могут потребоваться огромные затраты энергии, получение которой в ближайшие века останется технически неосуществимым.

Еще одно аномальное следствие физики «червоточин» — создание «дочерних вселенных» в лабораторных условиях. Разумеется, мы не в состоянии воспроизвести Большой взрыв и стать свидетелями рождения нашей Вселенной. Но Алан Гут из Массачусетского технологического института, ученый, который внес немалый вклад в развитие космологии, несколько лет назад шокировал многих физиков утверждением, будто бы физика «червоточин» дает возможность самостоятельно создавать «дочерние вселенные» в лаборатории. При высокой концентрации тепла и энергии в камере может даже открыться «червоточина», служащая пуповиной, соединяющей нашу Вселенную с другой, значительно меньших размеров. Если это и вправду возможно, ученые получают беспрецедентный шанс увидеть процесс создания Вселенной в лабораторных условиях.

Мистики и гиперпространство

Некоторые из этих представлений не новы. В последние несколько столетий мистики и философы высказывали догадки о существовании других вселенных и туннелей между ними. С давних времен их занимало возможное существование иных миров, которые нельзя выявить с помощью зрения

или слуха, тем не менее соседствующих с нашей Вселенной. Интриговало то, что, возможно, эти неизученные и неизведанные миры находятся совсем рядом, по сути дела, окружают нас, пронизывают нас повсюду, куда бы мы ни направлялись, но физически остаются для нас недостижимыми, ускользают от наших органов чувств. Но все эти разговоры в конечном итоге оказывались пустыми и бесполезными, так как не существовало практического способа выразить эти идеи математически и, в конце концов, проверить их.

Еще один излюбленный литературный прием — переходы между нашей Вселенной и другими измерениями. Для авторов научной фантастики многомерность стала незаменимым инструментом, которым они пользуются как средой для межзвездных путешествий. Так как звезды в небе разделены астрономически огромными расстояниями, писатели-фантасты находят применение высшим измерениям, удобно сокращая путь между звездами. Вместо того чтобы преодолевать гигантские расстояния, двигаясь по прямому пути к другим галактикам, ракеты просто и мгновенно переходят в гиперпространство, деформируя окружающее их пространство. К примеру, в фильме «Звездные войны» гиперпространство служит убежищем, где Люк Скайуокер легко может ускользнуть от боевых звездолетов Империи. В телесериале «Звездный путь. Дальний космос девять» (Star Trek: Deep Space Nine) «червоточина» открывается вблизи отдаленной космической станции, позволяя за считанные секунды преодолевать гигантские расстояния и пересекать галактику. Космическая станция внезапно становится центром острого межгалактического конфликта, в котором стороны соперничают за право контролировать это жизненно важное связующее звено с другими областями галактики.

Со времен «Вылета-19» (Flight 19) — инцидента 30-летней давности, когда звено американских торпедоносцев-бомбардировщиков исчезло во время учебного полета в Карибском регионе, авторы мистических романов пользовались многомерностью как удобной разгадкой тайны Бермудского,

или Дьявольского, треугольника. Некоторые писатели высказывали предположение, что самолеты и корабли, исчезающие в Бермудском треугольнике, на самом деле попадают в туннель, ведущий в другой мир.

Существование неуловимых параллельных миров веками порождало бесчисленные гипотезы религиозного свойства. Спириты гадали, переходят ли на самом деле души умерших близких в другое измерение. Британский философ XVII в. Генри Мор утверждал, что призраки и духи действительно существуют и населяют четвертое измерение. В труде «Руководство по метафизике» (*Enchiridion Metaphysicum*, 1671 г.) он отстаивал существование царства мертвых, недоступного нашему восприятию и служащего прибежищем для призраков и духов.

Богословы XIX в., не зная, где искать рай и ад, задумывались, нельзя ли обнаружить их в высших измерениях. Некоторые писали, что Вселенная состоит из трех параллельных плоскостей: земли, небес и ада. Сам Бог, согласно теологу Артуру Уиллинку, пребывает в мире, значительно удаленном от этих трех плоскостей: он живет в бесконечномерном пространстве.

Интерес к высшим измерениям достиг пика в 1870–1920 гг., когда «четвертое измерение» (пространственное, в отличие от известного нам четвертого временного) завладело воображением широкой публики и постепенно стало источником вдохновения во всех искусствах и науках, превратилось в метафору удивительного и таинственного. Четвертое измерение фигурирует в произведениях Оскара Уайльда, Ф. М. Достоевского, Марселя Пруста, Герберта Уэллса и Джозефа Конрада; оно способствовало созданию некоторых музыкальных произведений Александра Скрябина, Эдгара Вареза и Джорджа Антейла. Это измерение увлекало таких известных личностей, как психолог Уильям Джеймс, литератор Гертруда Стайн, революционер и социалист Владимир Ленин.

Четвертое измерение вдохновляло Пабло Пикассо и Марселя Дюшана, оказало значительное влияние на развитие кубизма и экспрессионизма — двух наиболее видных течений в искусстве XX в. Историк Линда Далримпл Хендерсон

пишет: «Подобно черным дырам, “четвертое измерение” обладает загадочными свойствами, окончательно разобраться в которых не могут даже сами ученые. Однако влияние идеи “четвертого измерения” было намного больше в сравнении с гипотезой о черных дырах или любыми другими научными гипотезами, выдвинутыми с 1919 г., за исключением теории относительности»⁵.

Математиков тоже с давних пор интриговали альтернативные формы логики и невероятная геометрия, бросающая вызов всем условностям и здравому смыслу. К примеру, математик Чарльз Лютвидж Доджсон, преподававший в Оксфордском университете, порадовал не одно поколение школьников книгами, публикуя их под псевдонимом Льюис Кэрролл и вплетая в текст необычные математические концепции. Падая в кроличью нору или проходя сквозь зеркало, Алиса попадает в Страну чудес — удивительное место, где Чеширский кот исчезает, оставляя только улыбку, волшебные грибы превращают детей в великанов, а Болванщики празднуют «дни нерождения». Зеркало каким-то образом соединяет мир Алисы с другой страной, где все говорят загадками и здравый смысл не такой уж и здравый.

Отчасти источником вдохновения для Льюиса Кэрролла послужили идеи, скорее всего, почерпнутые у великого немецкого математика XIX в. Георга Бернхарда Римана, первым заложившего математические основы геометрии многомерных пространств. Риман изменил ход развития математики в следующем веке, продемонстрировав, что эти вселенные, какими бы диковинными они ни казались непосвященному, абсолютно самосогласованны и подчиняются своей внутренней логике. Для иллюстрации одной из этих идей возьмите достаточно толстую стопку листов бумаги. А теперь представьте, что каждый лист — это целый мир, который подчиняется своим физическим законам, отличным от законов всех прочих миров. Тогда наша Вселенная — не единственная в своем роде, а один из множества возможных параллельных миров. Разумные существа могут населять любую из этих плоскостей, абсо-

лютно не подозревая о существовании других, им подобных. На одном листе может размещаться пасторальная английская провинция Алисы. На другом — диковинная Страна чудес, населенная вымышленными существами.

Как правило, на каждой из этих параллельных плоскостей жизнь продолжается независимо от жизни на других плоскостях. Но в отдельных случаях плоскости пересекаются, на краткий миг рвется сама ткань пространства, в итоге между двумя вселенными открывается дыра, или проход. Подобно «червоточинам», возникающим в сериале «Звездный путь. Дальний космос девять», эти проходы дают возможность путешествовать между мирами, служат космическими мостами, соединяющими две разные вселенных или две разные точки в пределах одной Вселенной (рис. 1.2). Неудивительно, что Кэрролл убедился: дети гораздо восприимчивее к таким возможностям, нежели взрослые, со временем демонстрирующие в своих представлениях о пространстве и логике все более явную косность. По сути дела, риманова теория многомерности в изложении Льюиса Кэрролла стала неотъемлемой частью детской литературы и фольклора и за несколько десятилетий породила немало других классических образов детской литературы, в том числе Страну Оз Дороти и Нетландию Питера Пэна.

Однако в отсутствие какого бы то ни было экспериментального подтверждения или убедительной физической мотивации этим теориям параллельных миров как отрасли науки грозила опасность зачахнуть. На протяжении двух тысячелетий ученые изредка обращались к понятию многомерности, только чтобы отместить его как не подлежащую проверке и, следовательно, абсурдную идею. Хотя с математической точки зрения риманова геометрия представляла интерес, ее отвергли как бесполезную, несмотря на всю продуманность. Ученые, отважившиеся рискнуть своей репутацией и обратиться к многомерности, вскоре обнаруживали, что над ними потешается все научное сообщество. Многомерное пространство стало последним прибежищем мистиков, оригиналов и шарлатанов.

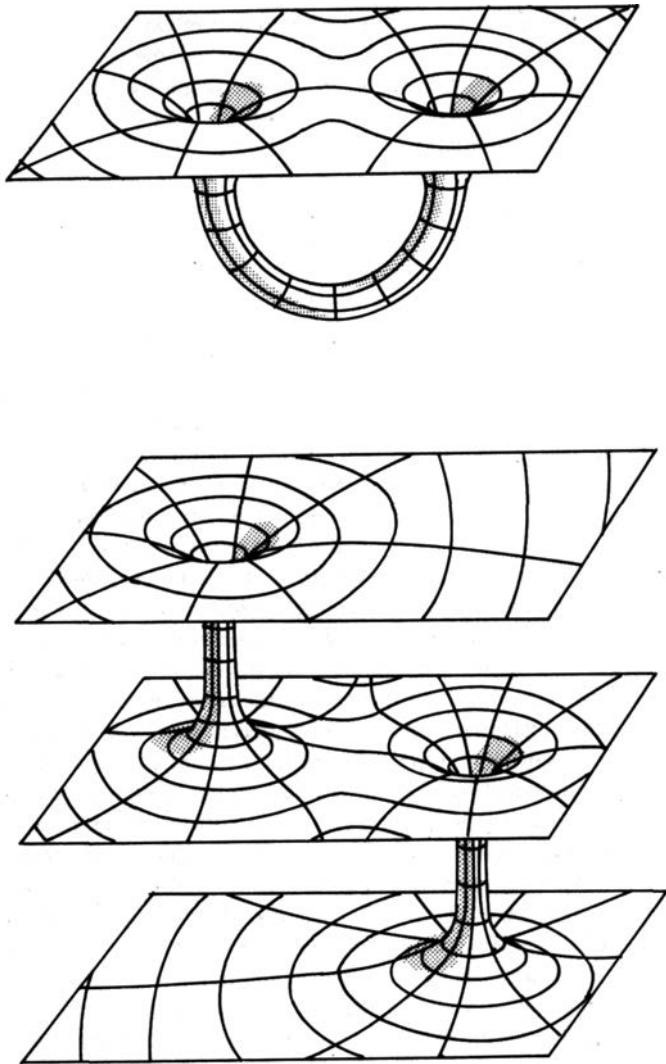


Рис. 1.2. «Червоточины» способны соединять вселенную с самой собой, вероятно, предоставляя возможность межзвездных путешествий. Поскольку «червоточины» могут соединять два разных временных периода, с их помощью можно также перемещаться во времени. Кроме того, «червоточины» могут соединять бесконечные ряды параллельных вселенных. Есть надежда, что теория гиперпространства позволит определить, возможно ли физическое существование «червоточин» или же это просто математический курьез

В этой книге мы изучим труды мистиков-первопроходцев, главным образом потому, что они изобрели остроумные способы, помогающие неспециалистам «визуализировать» возможный вид многомерных объектов. Эти хитрости оказались полезными для понимания того, как теории высших измерений могут быть восприняты широкой аудиторией.

Кроме того, изучая труды этих ранних мистиков, мы отчетливее понимаем, чего не доставало их исследованиям. Мы видим, что в их умозаключениях отсутствовали две важные составляющие: физическая и математическая основа. Рассматривая их с позиций современной физики, теперь мы понимаем, что недостающая *физическая* основа — это упрощение законов природы в гиперпространстве и возможность объединения всех взаимодействий природы с помощью исключительно геометрических параметров. Недостающая *математическая* основа называется *теорией поля*, это универсальный математический язык теоретической физики.

Теория поля — язык физики

Понятие полей впервые ввел выдающийся британский ученый XIX в. Майкл Фарадей. Сын небогатого кузнеца, Фарадей был гением-самоучкой, ставившим сложные опыты с электричеством и магнетизмом. Он представлял силовые линии, которые, подобно длинным побегам ползучего растения, исходят во все стороны от частиц с электрическим и магнитным зарядом и заполняют все пространство. Благодаря своим приборам Фарадей мог измерить силу линий, исходящих от источников магнитного или электрического заряда в любой точке своей лаборатории. Таким образом, он присваивал этой или любой другой точке в пространстве ряд параметров, таких как величина и направление силы. Всю совокупность этих параметров в любой точке пространства он рассматривал как единое целое и ввел для нее термин «поле». (Известна одна история из жизни Майкла Фарадея. Когда он уже достиг известно-

сти, слава его простиралась так широко, что его лабораторию часто посещали любопытствующие зрители. Однажды один из них спросил, в чем польза от работы Фарадея, и тот ответил: «А в чем польза от ребенка? Он вырастает и становится взрослым человеком». Однажды лабораторию Фарадея посетил Уильям Гладстон, в то время министр финансов Великобритании. Не имея никакого представления о науке, Гладстон саркастически осведомился у Фарадея, могут ли огромные электрические устройства в его лаборатории принести хоть какую-нибудь пользу Англии. Фарадей ответил: «Сэр, я не знаю, для чего будут применяться эти машины, зато уверен, что когда-нибудь их станут облагать налогом». В настоящее время значительная доля совокупного богатства Англии инвестируется в плоды трудов Фарадея.)

Пропусту говоря, *поле* — это совокупность параметров, определенных в каждой точке пространства, полностью описывающих силу в этой точке. К примеру, три параметра в каждой точке пространства могут описывать напряженность и направление магнитных силовых линий. Другие три параметра где-либо в пространстве могут описывать электрическое поле. Эта идея родилась у Фарадея, когда он думал о поле, которое пашет земледелец. Поле земледельца занимает двумерный участок пространства. В каждой точке поля можно определить ряд параметров (которые описывают, к примеру, количество зерен, находящихся в этой точке). Однако поле Фарадея занимает трехмерный участок пространства. В каждой его точке можно определить шесть параметров, описывающих магнитные и электрические силовые линии.

Эффективность фарадеевой идеи поля состоит в том, что в виде поля можно представить все взаимодействия природы. Но нам понадобится еще один компонент, прежде чем мы сможем понять природу любой силы: мы должны иметь возможность записывать формулы, которым подчиняются поля. Прогресс последних ста лет в развитии теоретической физики можно обобщенно сформулировать как поиск *уравнений поля* для природных сил взаимодействия.

К примеру, в 60-х гг. XIX в. шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл записал уравнения для электрического и магнитного полей. В 1915 г. Эйнштейн открыл уравнения гравитационного поля. После многочисленных неудач в 70-е гг. XX в. наконец были записаны уравнения для поля сил субатомных частиц по результатам более ранних работ Чжэньнин Янга и его ученика Р. Л. Миллса. Такие поля, обуславливающие взаимодействие всех субатомных частиц, в настоящее время называются полями *Янга–Миллса*. Но в том же веке физикам пришлось поломать голову над вопросом, почему уравнения субатомного поля так разительно отличаются от уравнений поля, выведенных Эйнштейном, — иными словами, почему силы ядерного взаимодействия настолько отличаются от сил гравитации. Некоторые выдающиеся умы пытались подступиться к этой задаче, но потерпели фиаско.

Возможно, причина их неудачи в том, что они попались в ловушку здравого смысла. Ограниченные тремя-четырьмя измерениями, уравнения поля для мира субатомных частиц и гравитации трудно отождествить. Преимущество теории гиперпространства заключается в том, что поля Янга–Миллса, поля Максвелла и поля Эйнштейна можно с удобством разместить внутри гиперпространственного поля. Мы видим, что эти поля укладываются в гиперпространственное поле, совпадая друг с другом точно, как детали головоломки. Еще одно преимущество теории поля в том, что она позволяет нам вычислить точные параметры энергии, при которых можно ожидать формирования в пространстве и времени «червоточин». Следовательно, в отличие от древних, у нас есть математические инструменты для строительства машин, которые когда-нибудь подчинят нам пространство и время.

Тайна сотворения

Значит ли это, что любители поохотиться на крупную дичь могут уже сейчас готовиться к сафари на мезозойских динозав-

ров? Нет. Торн, Гут и Фройнд в один голос скажут, что затраты энергии для исследования таких пространственных аномалий значительно превосходят все ее запасы, имеющиеся на Земле. Фройнд напомнит, что для проникновения в десятое измерение понадобится в квадрильон раз больше энергии, чем может выработать наш самый большой ускоритель частиц.

Затраты энергии, необходимые для того, чтобы связать в узел пространство и время, настолько велики, что ее получение останется недоступным в ближайшие несколько веков или даже тысячелетий, если эта цель вообще когда-нибудь будет достигнута. Даже если все страны мира объединятся с целью строительства установки, позволяющей исследовать гиперпространство, их ждет разочарование. Как указывает Гут, для создания дочерней Вселенной в лабораторных условиях требуется температура порядка 1000 триллионов триллионов градусов, значительно превосходящая все наши возможности. Даже внутри звезды температура гораздо ниже. Следовательно, хотя законы Эйнштейна и квантовой теории, возможно, и позволяют нам путешествовать во времени, это недоступно нам, землянам, едва научившимся преодолевать слабое поле тяготения родной планеты. Мы можем восхищаться выводами исследований «червоточин», но пользоваться их потенциалом в состоянии только развитые внеземные цивилизации.

Лишь в один период времени энергия столь колоссальных масштабов могла быть доступна — в момент сотворения мира. По сути дела, теорию гиперпространства нельзя подтвердить с помощью крупнейших ускорителей частиц, имеющих у нас, потому что эта теория на самом деле представляет собой теорию сотворения мира. Только момент Большого взрыва делает наглядной мощь теории гиперпространства в действии. Здесь напрашивается волнующая гипотеза, согласно которой теория гиперпространства способна открыть тайну зарождения Вселенной.

Введение высших измерений может оказаться необходимым, чтобы разгадать тайны сотворения мира. Согласно этой теории до Большого взрыва наш космос представлял собой

идеальную десятимерную вселенную — мир, в котором возможны путешествия между измерениями. Однако этот десятимерный мир был нестабильным и в конце концов раскололся надвое, образовав две обособленные вселенные: четырехмерную и шестимерную. В этом космическом катаклизме родилась Вселенная, в которой живем мы. Наша четырехмерная Вселенная расширилась мгновенно, в то время как парная ей шестимерная резко сократилась, сжалась почти до бесконечно малых размеров. Этим объясняется происхождение Большого взрыва. Если данная теория верна, она показывает, что стремительное расширение Вселенной было всего-навсего незначительным последствием более масштабного катаклизма, раскола самих пространства и времени. Значит, энергию, питающую наблюдаемое расширение Вселенной, дает гибель десятимерного пространства и времени. Согласно этой теории, далекие звезды и галактики ввиду изначального коллапса десятимерного пространства и времени удаляются от нас с астрономической скоростью.

Эта же теория предполагает, что у нашей Вселенной есть близнец-карлик — Вселенная-спутник, скрученная в шестимерный шарик, который слишком мал, чтобы его увидеть. Эта шестимерная Вселенная не только не является ничем-тошным придатком нашего мира, но и в конце концов может стать нашим спасением.

Бегство из гибнущей Вселенной

Часто можно услышать, что единственные константы в человеческом обществе — это смерть и налоги. Специалисты по космологии твердо знают одно: когда-нибудь наша Вселенная погибнет. Некоторые убеждены, что причиной гибели Вселенной станет Большое сжатие (Big Crunch). Гравитация даст обратный ход расширению, вызванному Большим взрывом, и вновь сожмет звезды и галактики в первозданную массу. По мере сжатия звезд температура будет стремительно расти

до тех пор, пока вся материя и энергия Вселенной не сожмутся в гигантский огненный шар, который и уничтожит Вселенную в привычном для нас виде. Все формы жизни изменятся до неузнаваемости. Спасаться будет негде. Такие ученые и философы, как Чарльз Дарвин и Бертран Рассел, скорбно писали о тщете нашего жалкого существования, зная, что наша цивилизация неизбежно погибнет с исчезновением нашего мира. Видимо, законы физики вынесли окончательный, не подлежащий отмене смертный приговор всей разумной жизни во Вселенной.

По мнению покойного физика Джералда Фейнберга из Колумбийского университета, есть все же одна, возможно, единственная надежда избежать последней катастрофы. Он полагал, что разумная жизнь в конце концов, за миллиарды лет овладев тайнами многомерного пространства, воспользуется иными измерениями как аварийным люком, чтобы спастись от Большого сжатия. В последние мгновения коллапса нашей Вселенной ее сестра вновь откроется, и перемещение между измерениями станет возможным. Когда вся материя погибнет в последние мгновения перед концом света, возможно, разумным формам жизни удастся переместиться по туннелю в многомерное пространство или в альтернативную вселенную, ускользнув от, казалось бы, неизбежной гибели нашей Вселенной. В этом случае, уже находясь в многомерном убежище, эти разумные формы жизни увидят гибель коллапсирующей Вселенной в ходе ужасного катаклизма. Наша родная Вселенная будет смята, изменится до неузнаваемости, температура в ней резко поднимется, вызывая еще один Большой взрыв. Со своего наблюдательного пункта в гиперпространстве разумные формы жизни воочию увидят редчайшее из всех научных явлений — создание еще одной Вселенной, их нового дома.

Повелители гиперпространства

Несмотря на то что согласно теории поля для создания удивительных деформаций пространства и времени требуется гораздо

больше энергии, чем может выработать современная цивилизация, эта теория порождает два важных вопроса: сколько времени нашей цивилизации, знания и могущество которой растут экспоненциально, понадобится для освоения теории гиперпространства? И еще: что насчет других разумных форм жизни во Вселенной, которые, возможно, уже достигли этого этапа в развитии?

Изюминку дискуссии придает то, что видные ученые уже предпринимали попытки количественно оценить прогресс цивилизаций в далеком будущем, когда космические путешествия станут обыденными, а колонизация соседних солнечных систем и даже галактик завершится. Хотя затраты энергии, необходимые для манипуляций в гиперпространстве, астрономически велики, ученые указывают, что, по всей вероятности, экспоненциальное развитие науки в следующие века будет продолжаться и опережать способность человеческого разума постичь его. После Второй мировой войны общая сумма научных знаний увеличивалась вдвое каждые 10–20 лет, следовательно, успехи науки и техники в XXI в. могут превзойти наши самые смелые прогнозы. Техника и технологии, о которых сегодня мы можем только мечтать, в следующем веке станут обычным явлением. Вероятно, тогда и начнется обсуждение вопроса о том, когда мы научимся повелевать гиперпространством.

Путешествия во времени. Параллельные вселенные. Межпространственные окна. Сами по себе эти концепции находятся на грани нашего понимания материальной Вселенной. Но поскольку теория гиперпространства — это истинная теория поля, мы рассчитываем, что в конце концов она даст численные ответы, позволяющие определить, справедливы ли эти увлекательные концепции. Если теория дает абсурдные ответы, идущие вразрез с физическими данными, значит, от нее придется отказаться, какой бы прекрасной с математической точки зрения она ни была. В конечном счете мы — физики, а не философы. Но если теория окажется верной и объяснит

симметрию в современной физике, тогда она ознаменует революцию, равнозначную революциям, которые произвели Коперник или Ньютон.

Но, для того чтобы обрести интуитивное понимание этих концепций, важно начать с самого начала и действовать по порядку. Прежде чем мы освоимся с десятью измерениями, необходимо научиться манипулировать четырьмя пространственными. Пользуясь историческими примерами, мы рассмотрим изобретательные попытки, на протяжении десятилетий предпринимавшиеся учеными, чтобы создать осязаемое визуальное отображение многомерного пространства. Поэтому первая часть этой книги посвящена истории открытия многомерности — в первую очередь математику, с которого все и началось, Георгу Бернхарду Риману. Предвидя грядущее столетие научного прогресса, Риман первым заявил, что природа обретает свой естественный дом в геометрии многомерного пространства.

2

Математики и мистики

Любая достаточно развитая технология неотличима от магии.

Артур Кларк

Десятое июня 1854 г. — дата рождения новой геометрии. Теорию многомерности сформулировал Георг Бернхард Риман, когда прочитал свою знаменитую лекцию в Университете Гёттингена в Германии. Подобно тому, как в сумрачную затхлую комнату проникает сияние теплого летнего солнца, лекция Римана пролила свет на ошеломляющие свойства многомерного пространства.

Его невероятно важный блестящий доклад «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» опрокинул столпы классической греческой геометрии, с успехом выдерживавшие нападки скептиков на протяжении двух тысячелетий. Старая евклидова геометрия, в которой все геометрические фигуры рассматривались как двух- или трехмерные, рухнула, а из ее руин возникла новая геометрия — риманова. Революция Римана имела огромное значение для будущего искусства и науки. Не прошло и трех десятилетий после его доклада, как «таинственное четвертое измерение» оказало воздействие на развитие науки, философии и литературы в Европе. Уже через шесть десятилетий после выступления Римана Эйнштейн воспользовался четырехмерной римановой геометрией, чтобы объяснить возникновение Вселенной и ее эволюцию. А через 130 лет после знаменательного доклада физики обратились к десятимер-

ной геометрии в попытке объединить все законы физической Вселенной. В основе трудов Римана лежало понимание того, что в многомерном пространстве физические законы упрощаются, чему, собственно, и посвящена данная книга.

Блеск и нищета

Как ни парадоксально, Риман совершенно не подходил для роли ученого, способного возвестить о столь глубокой и всесторонней революции в математической и физической мысли. Он был чрезвычайно, почти патологически застенчив и страдал возобновляющимися нервными срывами. Кроме того, Риману не давали покоя две беды, на протяжении истории погубившие многих величайших ученых: крайняя бедность и чахотка (туберкулез). В его характере и темпераменте никак не проявлялись поразительная дерзость, размах и непоколебимая убежденность, свойственные его трудам.

Риман родился в 1826 г. в Ганновере, Германия, и был вторым из шестерых детей бедного лютеранского пастора. Его отец, ветеран наполеоновских войн, трудился на поприще сельского священника не покладая рук, чтобы прокормить и одеть свое большое семейство. Как отмечает биограф Эрик Темпл Белл, «болезненность и ранние смерти большинства детей в семье Риманов были следствием недоедания в детстве и юности, а не отсутствием жизненных сил и стойкости. Их мать также умерла еще до того, как дети успели вырасти»¹.

Уже в раннем возрасте Риман демонстрировал присущие ему особенности: поразительный талант к математике в сочетании с робостью и панической боязнью любых публичных выступлений, преследовавшей его на протяжении всей жизни. Болезненно застенчивый, он был мишенью для жестоких насмешек сверстников, что вынуждало его замыкаться в себе, все дальше уходить в свой тайный мир математики.

Вместе с тем Риман был всецело предан семье и не щадил сил и слабого здоровья, чтобы покупать подарки родителям

и в особенности — любимым сестрам. На радость отцу Риман решил стать студентом-богословом. Его целью было получить выгодную должность пастора как можно скорее, чтобы помочь родным выбраться из финансовой пропасти. (Трудно представить себе менее вероятное развитие событий: молчаливый, косноязычный, робкий юноша воображал, что сумеет произносить захватывающие, страстные проповеди, обличая грех и изгоняя дьявола.)

В старших классах школы Риман прилежно штудировал Библию, но мыслями неизменно возвращался к математике; он даже пытался математически доказать правильность Книги Бытия. Он учился так быстро, что превосходил познаниями своих наставников, обнаруживших, что угнаться за этим подопечным невозможно. В конце концов директор школы, чтобы хоть чем-то занять юношу, дал ему увесистый фолиант. Это была книга Адриена Мари Лежандра «Опыт теории чисел», внушительный 859-страничный шедевр, на тот момент — наиболее полный из всех существующих в мире трактат, посвященный такому непростому предмету, как теория чисел. Риман проглотил его за шесть дней.

На вопрос директора «Ну как, много уже прочел?», юный Риман ответил: «Это поистине удивительная книга. Я одолел ее всю». Директор счел эти слова бравадой и спустя несколько месяцев задал хвастливому юнцу несколько сложных вопросов по книге, на которые Риман ответил блестяще².

Изнуренный каждодневными поисками пропитания, отец мог бы отправить Римана работать. Однако пастор сумел скопить сумму, достаточную для поступления его 19-летнего сына в знаменитый Гёттингенский университет, где тот познакомился с Карлом Фридрихом Гауссом, признанным «королем математиков», одним из величайших математиков того времени. Даже сегодня в ответ на просьбу перечислить трех наиболее выдающихся математиков в истории любой математик назовет Архимеда, Исаака Ньютона и Карла Гаусса.

В целом жизнь Римана была непрерывной чередой препятствий и бед, преодолевать которые удавалось с огромным тру-

дом и напряжением и без того небольших сил. За каждым триумфом следовали фиаско и трагедия. Едва фортуна улыбнулась ему и он приступил к учебе у Гаусса, как Германию захлестнула волна революции. Рабочий класс, долго терпевший нечеловеческие условия жизни и труда, восстал против правительства, рабочие городов по всей Германии взяли за оружие. Эти демонстрации и волнения начала 1848 г. стали источником вдохновения для еще одного известного гражданина Германии — Карла Маркса и оказали заметное влияние на развитие революционного движения в Европе в последующие годы.

Когда волнения охватили всю Германию, учеба Римана прервалась. Его зачислили в студенческий отряд, где он удостоился сомнительной чести в течение 16 утомительных часов охранять особу, напуганную гораздо сильнее ее охранников, — короля, который трясся от страха в своем берлинском дворце, пытаясь укрыться от гнева рабочего класса.

За рамками евклидовой геометрии

Революционные бури бушевали не только в Германии, но и в сфере математики. Вопросом, которым заинтересовался Риман, стало неизбежное падение еще одного бастиона, авторитет которого ранее был непререкаем, — евклидовой геометрии, рассматривающей пространство как трехмерное. Более того, это пространство не только трехмерное, но и «плоское» (на плоскости кратчайшее расстояние между двумя точками — прямая; исключается сама возможность, что пространство может быть изогнутым, как в случае со сферой).

Пожалуй, евклидовы «Начала» можно назвать наиболее влиятельной (после Библии) книгой всех времен. На протяжении двух тысячелетий проницательнейшие умы западной цивилизации восхищались ясностью мысли и красотой геометрических построений. Тысячи прекрасных соборов Европы были воздвигнуты согласно принципам этой книги. Оглядываясь назад, можно отметить, что успех «Начал» был чересчур

велик. С течением веков она стала своего рода религией; к каждому, кто осмеливался предложить искривленное пространство или многомерность, относились как к безумцу или еретику. Бесчисленные множества поколений школьников сражались с теоремами евклидовой геометрии: длина окружности в π раз превосходит ее диаметр, сумма углов треугольника составляет 180° . Но как ни бились веками самые светлые умы математики, им не удавалось найти доказательства обманчиво простых постулатов. В конце концов до европейских математиков начало доходить, что даже евклидовым «Началам», чтимым на протяжении 2300 лет, недостает полноты. Евклидова геометрия по-прежнему приемлема, если речь идет о плоских поверхностях, но в мире изогнутых поверхностей она неверна.

С точки зрения Римана, евклидова геометрия особенно бесплодна, если ее сравнить с поразительным многообразием мира. Нигде в природе мы не встречаем плоских, идеальных геометрических фигур Евклида. Горные цепи, океанские волны, облака, водовороты — отнюдь не правильные круги, треугольники и квадраты, а объекты с криволинейными поверхностями, количество изгибов которых поражает бесконечным разнообразием.

Время для революции наступило. Но кто возглавит ее и что придет на смену прежней геометрии?

Появление римановой геометрии

Риман восставал против мнимой математической точности греческой геометрии, фундамент которой, как он обнаружил, покоится на зыбучих песках интуиции и здравого смысла, а не на твердой почве логики.

Согласно Евклиду, у точки вообще нет измерения. У линии одно измерение — длина. У плоскости — два: длина и ширина. У тела — три: длина, ширина и высота. На этом все и заканчивается. Нет ничего, что имело бы четыре измерения. Эти

утверждения эхом повторял философ Аристотель, вероятно, первым в мире категорически заявивший, что четвертое пространственное измерение невозможно. В трактате «О небе» он писал: «Величина, делимая в одном измерении, есть линия, в двух — плоскость, в трех — тело, и, кроме них, нет никакой другой величины, так как три суть все». Более того, в 150 г. н. э. астроном Птолемей из Александрии пошел дальше Аристотеля и в своем труде «О расстояниях» предложил первое оригинальное «доказательство» невозможности четвертого измерения.

Сначала, предлагал он, проведем три взаимно перпендикулярные линии. Например, угол куба представляет собой три линии, перпендикулярные друг другу. Затем попробуем провести четвертую линию, перпендикулярную остальным трем. Как бы мы ни старались, утверждает Птолемей, провести четвертый перпендикуляр невозможно. По мнению Птолемея, четвертую перпендикулярную линию «нельзя измерить и определить». Таким образом, четвертое измерение невозможно.

В действительности же Птолемей доказал невозможность визуализировать четвертое измерение с помощью нашего трехмерного мозга (сегодня нам уже известно немало объектов математики, которые нельзя представить, однако их существование можно доказать). Птолемей мог бы войти в историю как человек, противостоявший двум великим идеям в науке: гелиоцентрической Солнечной системе и четвертому измерению.

За прошедшие с тех пор века появлялось немало математиков, с пеной у рта отвергавших четвертое измерение. В 1685 г. Джон Уоллис (Валлис) высказывался против этой концепции, называя ее «Чудовищем в мире природы, еще менее возможным, чем химера или кентавр... Длина, ширина и высота исчерпывают пространство. Никакому воображению не под силу представить четвертое пространственное измерение помимо этих трех»³. В течение нескольких тысяч лет математики повторяли эту роковую ошибку: что четвертое изме-

рение не существует по той причине, что мы не в состоянии вообразить его себе.

Единство всех физических законов

Решительное отступление от евклидовой геометрии произошло, когда Гаусс поручил студенту Риману подготовить доклад об «основах геометрии». Гаусс всерьез заинтересовался вопросом, сумеет ли его ученик разработать альтернативу евклидовой геометрии. (За несколько десятилетий до этого Гаусс сам в личных беседах выражал всяческие сомнения относительно евклидовой геометрии. Он даже упоминал в разговорах с коллегами гипотетических «книжных червей», живущих исключительно в двумерном пространстве. Он говорил, что это распространяется на геометрию многомерного пространства. Но будучи крайне консервативным человеком, Гаусс никогда не публиковал своих работ по многомерности, зная, какой взрыв негодования они вызовут у ограниченной, реакционно настроенной «старой гвардии». Гаусс презрительно окрестил их «беотийцами» — по названию одной из народностей Греции, представителей которой считали умственно недоразвитыми⁴.)

Риман был в ужасе. Этого застенчивого, робкого человека, впадающего в панику при мысли о публичных выступлениях, наставник попросил прочитать перед целым факультетом доклад об одной из самых сложных математических проблем столетия.

Следующие несколько месяцев Риман усердно разрабатывал теорию многомерности, напрягая все свои силы и находясь на грани нервного срыва. И без того плачевное положение усугублялось финансовыми проблемами. Чтобы обеспечивать близких, ему приходилось заниматься низкооплачиваемым репетиторством. Кроме того, Риман был вынужден отвлекаться на поиски объяснения физических проблем. Особенно часто он помогал профессору Вильгельму Веберу проводить

эксперименты в новой увлекательной сфере — исследованиях электричества.

Конечно, электричество было известно и в древности — в виде искр и молний. Но в начале XIX в. это явление заняло центральное место в исследованиях физиков. В частности, внимание ученых привлекло то, что при прохождении тока по проводу, лежащему поверх компаса, стрелка компаса приводится в движение. И наоборот: движение магнитного стержня относительно провода может вызвать возникновение электрического тока в проводе. (Это явление называется законом Фарадея, на его принципах основаны все современные электрогенераторы и трансформаторы, следовательно, во многом он определяет основы современной техники и технологии.)

С точки зрения Римана, этот феномен указывал на то, что электричество и магнетизм — проявления одной и той же силы. Вдохновленный новыми открытиями, Риман был убежден, что мог бы дать математическое объяснение, способное объединить электричество и магнетизм. Он с головой ушел в работу в лаборатории Вебера, уверенный, что с помощью математики удастся добиться полного понимания действия этих сил.

Но, поскольку Риман был обременен подготовкой к публичному докладу о «началах геометрии», обеспечением семьи и проведением научных экспериментов, здоровье в конце концов подвело его, и в 1854 г. он пережил нервный срыв. Позднее он писал отцу: «Исследования единства всех физических законов настолько увлекли меня, что, когда тема пробного доклада была мне объявлена, я насилу оторвался от исследовательской работы. Затем, отчасти из-за размышлений о ней, отчасти ввиду постоянного пребывания в помещении в эту скверную погоду, я занемог»⁵. Это письмо имеет большое значение, так как ясно свидетельствует, что даже во время многомесячной болезни Риман твердо верил, что откроет «единство всех физических законов» и что математика со временем проложит путь к этому объединению.

Сила = геометрия

Несмотря на постоянные болезни, Риман в конечном счете изменил бытующие представления о значении силы. Еще со времен Ньютона ученые считали силу мгновенным взаимодействием удаленных друг от друга тел. Физики называли ее «дальнодействием», это означало, что некое тело способно оказывать мгновенное влияние на движение удаленных от него тел. Безусловно, ньютонова механика могла описать движение планет. Но на протяжении веков критики утверждали, что «дальнодействие» не является естественным, так как оно означало бы, что одно тело способно менять направление движения другого без соприкосновения с ним.

Риман предложил совершенно новую физическую картину. Ему представилось племя двумерных существ, подобных «книжным червям» Гаусса и живущих на листе бумаги. Но в отличие от Гаусса Риман населил этими «книжными червями» *скомканный* лист бумаги⁶. Что должны думать такие существа о мире, в котором они живут? Риман сообразил, что, с их точки зрения, этот мир остается совершенно плоским. Так как тела этих книжных червей тоже искривлены, они и не замечают, что их мир искажен. Однако Риман утверждал: при попытке переместиться по этому скомканному листу бумаги книжные черви ощутят воздействие таинственной, незримой силы, которая помешает им ползти по прямой. Им придется отклоняться вправо или влево каждый раз, когда впереди окажется очередная складка листа.

Таким образом, Риман сделал первое за 200 лет значимое отступление от принципов Ньютона, отказался от принципа воздействия на расстоянии. По Риману, *сила — следствие геометрии*.

Затем Риман заменил двумерный лист бумаги нашим трехмерным миром, «смятым» в четвертом измерении. Деформации нашей Вселенной неочевидны для нас. Но мы сразу почувствуем некий подвох, когда попытаемся идти по прямой. Мы будем двигаться словно во хмелю, как будто незримая сила тянет нас, толкает то вправо, то влево.

Риман пришел к выводу, что электричество, магнетизм и гравитация вызваны деформацией нашей трехмерной Вселенной в незримом четвертом измерении. Таким образом, сила не может существовать самостоятельно и независимо, а представляет собой лишь видимое следствие искажения геометрии пространства. Введя в рассуждения четвертое пространственное измерение, Риман случайно наткнулся на тему, которая стала одной из господствующих в современной теоретической физике, — явное упрощение законов природы в категориях многомерного пространства. И Риман приступил к работе над математическим языком, пригодным для выражения этой идеи.

Метрический тензор Римана: новая теорема Пифагора

Риману понадобилось несколько месяцев, чтобы оправиться от последствий нервного срыва. Его доклад, наконец прочитанный в 1854 г., приняли с воодушевлением. В ретроспективе это был, бесспорно, один из наиболее выдающихся публичных докладов в истории математики. По Европе быстро распространилось известие, что Риман решительно сбросил оковы евклидовой геометрии, которой математики подчинялись на протяжении двух тысячелетий. О докладе вскоре узнали во всех центрах образования Европы, вклад Римана в математику приветствовали повсюду в научных кругах. Доклад Римана перевели на несколько языков, он произвел фурор в математике. К евклидовой геометрии раз и навсегда перестали относиться так, как прежде.

Суть выдающегося труда Римана, как и суть многих величайших работ в области физики и математики, уловить довольно просто. Риман начал со знаменитой теоремы Пифагора, одного из важнейших достижений древнегреческих математиков. Эта теорема устанавливает соотношения между длинами сторон прямоугольного треугольника. Согласно ей, сумма ква-

дратов коротких сторон, катетов, равна квадрату длинной стороны, гипотенузы; если a и b — длины катетов, а c — длина гипотенузы, тогда $a^2 + b^2 = c^2$. (Естественно, теорема Пифагора лежит в основе всей архитектуры; все сооружения на планете построены с ее учетом.)

Эту теорему легко сформулировать для трехмерного пространства. Она гласит, что сумма квадратов трех смежных сторон куба равна квадрату его диагонали; или если a , b и c — стороны куба, а d — его диагональ, тогда $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$ (рис. 2.1).

Теперь так же просто можно сформулировать ту же теорему для N -мерного пространства. Представим себе N -мерный куб. Если a , b , c, \dots — длины сторон «гиперкуба», а z — длина его диагонали, тогда $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots = z^2$. Примечательный момент: хотя наш мозг не в состоянии представить N -мерный куб, формулу для его сторон и диагонали записать несложно. (Это типичная особенность работы с гиперпространством. С математической точки зрения манипулировать N -мерным пространством не труднее, чем трехмерным пространством. Поразительно, как на простом листе бумаги можно математически описать свойства многомерных объектов, которые не в силах вообразить наш мозг.)

Затем Риман записал эти уравнения для пространств с произвольным количеством измерений. Эти пространства могут быть либо плоскими, либо искривленными. К плоским применяются обычные аксиомы Евклида: кратчайшее расстояние между двумя точками — прямая, параллельные линии никогда не пересекаются, сумма внутренних углов треугольника составляет 180° . Вместе с тем Риман обнаружил, что поверхности могут иметь «положительную кривизну», как поверхность сферы, где параллельные всегда пересекаются и сумма углов треугольника может быть больше 180° . Бывают и поверхности с «отрицательной кривизной»: например, седлообразные или воронкообразные. На этих поверхностях сумма углов треугольника меньше 180° . Если взять линию и точку вне этой линии, то через такую точку можно провести бесконечное множество линий, параллельных данной (рис. 2.2).

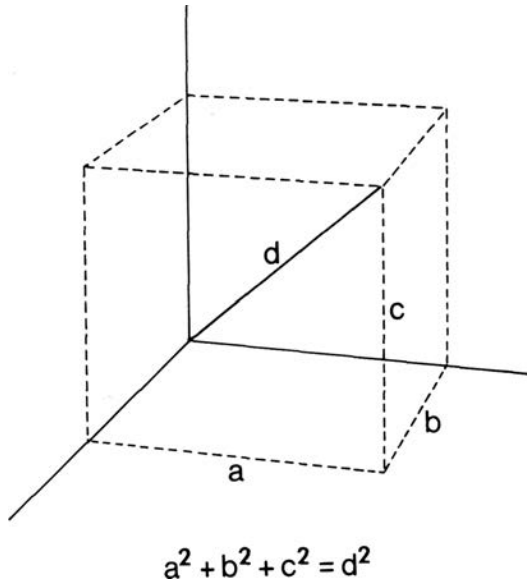


Рис. 2.1. Длину диагонали куба дает трехмерный вариант теоремы Пифагора: $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$. Простого добавления новых переменных в теорему Пифагора достаточно, чтобы записать формулу для диагонали гиперкуба в N -мерном пространстве. Таким образом, несмотря на сложность визуализации высших измерений, представить N -мерность математически довольно просто

Целью Римана было ввести в математику новый элемент, позволяющий описывать все поверхности независимо от их сложности. Как и следовало ожидать, эта цель побудила его обратиться к фарадеевой концепции поля.

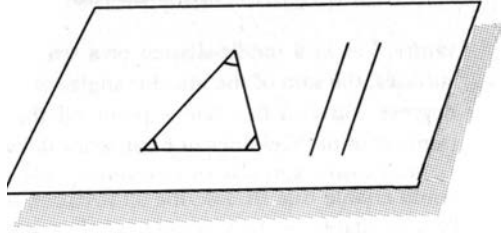
Как мы помним, поле Фарадея представляло собой подобие крестьянского, занимающего двумерный участок пространства. Фарадеево поле занимает часть трехмерного пространства; любой точке этого пространства мы присваиваем ряд параметров, описывающих магнитное или электрическое взаимодействие в этой точке. Идея Римана заключалась в том, чтобы присвоить каждой точке пространства ряд параметров, которые описывали бы степень его деформации или кривизны.

К примеру, для обычной двумерной поверхности Риман вводил набор из трех параметров для каждой точки, полностью описывающих искривление этой поверхности. Риман обнаружил, что в четырех пространственных измерениях для описания свойств каждой точки требуется набор из десяти параметров. Каким бы «скомканным» или искривленным ни было пространство, этих десяти параметров для каждой точки оказывалось достаточно, чтобы зашифровать всю информацию о данном пространстве. Обозначим эти десять параметров как g_{11} , g_{12} , g_{13} , и т. д. (при анализе четырехмерного пространства нижний индекс меняется от единицы до четырех). В этом случае риманов набор из десяти параметров можно симметрично расположить, как показано на рис. 2.3⁷. (Несмотря на то что компонентов всего 16, $g_{12} = g_{21}$, $g_{13} = g_{31}$ и т. д., т. е. в действительности независимых компонентов только десять.) В настоящее время этот набор параметров называется римановым *метрическим тензором*. Грубо говоря, чем больше значение метрического тензора, тем сильнее скомкан лист. Как бы ни был смят лист бумаги, метрический тензор дает нам простое средство измерения его кривизны в любой точке. Если же мы полностью расправим скомканный лист, сделаем его плоским, то снова вернемся к теореме Пифагора.

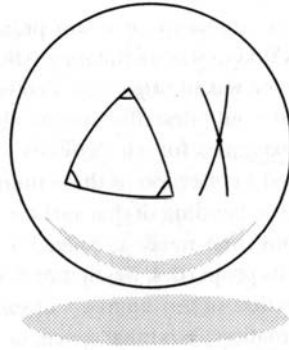
Метрический тензор позволил Риману построить эффективный аппарат для описания пространств с любым количеством измерений и произвольной кривизной. К своему изумлению, Риман обнаружил, что все эти пространства четко определены и логически последовательны. Ранее считалось, что при исследовании запретного мира высших измерений непреодолимые противоречия неизбежны. Но, как ни странно, Риман не заметил ни одного. Напротив, переход к N -мерным пространствам оказался почти пустяковым делом. Метрический тензор приобрел сходство с шахматной доской размером $N \times N$ клеток. Это обстоятельство приобретет глубокий физический смысл в следующих главах, когда мы перейдем к объединению всех сил.

(Как мы убедимся, секрет объединения кроется в расширении метрического тензора Римана до N -мерного пространства

Нулевая кривизна



Положительная кривизна



Отрицательная кривизна

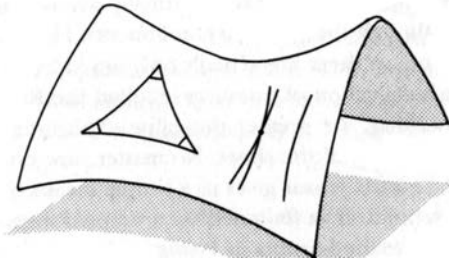


Рис. 2.2. Плоскость имеет нулевую кривизну. Согласно евклидовой геометрии сумма углов треугольника равна 180° , параллельные не пересекаются. В неевклидовой геометрии сфера имеет положительную кривизну. Сумма углов треугольника превышает 180° , параллельные линии всегда пересекаются. (К параллельным линиям относятся дуги, центры которых совпадают с центром сферы. Широтные линии в эту категорию не входят.) У седлообразной поверхности отрицательная кривизна. Сумма углов треугольника меньше 180° . Через конкретную точку можно провести бесконечное множество линий, параллельных данной

$$\begin{pmatrix}
 g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\
 g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\
 g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\
 g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44}
 \end{pmatrix}$$

Рис. 2.3. Метрический тензор Римана содержит всю информацию, необходимую для математического описания изогнутого N -мерного пространства. Для каждой точки четырехмерного пространства требуется метрический тензор с 16 параметрами. Эти числа можно расположить в виде квадратной матрицы (из этих параметров шесть на самом деле избыточны, следовательно, в метрический тензор входит десять независимых параметров)

с последующим его нарезанием на прямоугольные части. Каждый прямоугольник соответствует одному взаимодействию. В этом случае можно описывать различные силы природы, размещая их в метрическом тензоре, как элементы в головоломке. Таково математическое выражение принципа, согласно которому многомерное пространство объединяет законы природы так, что для их объединения «хватает места» в N -мерном пространстве. Точнее, для объединения сил природы «достаточно места» в метрическом тензоре Римана.)

Риман предсказал еще одно направление развития физики: он первым заговорил о многосвязных пространствах, или «червоточинах». Для наглядного представления этой концепции возьмите два листа бумаги, положите один на другой. Сделай-

те ножницами короткий разрез на каждом листе. Потом склейте листы друг с другом вдоль разрезов (рис. 2.4). (Топологически получается то же самое, что и на рис. 1.1, только горловина «червоточины» имеет нулевую длину.)

Жучок, живущий на верхнем листе, может когда-нибудь случайно заползти в разрез и очутиться на нижнем листе. И озадачиться, так как все вокруг изменится. После многочисленных экспериментов жучок наверняка поймет, что можно вернуться в привычный мир, если проползти через разрез в обратном направлении. Стоит только сделать это — и мир станет обычным, но любые попытки пройти через разрез в надежде сократить путь чреваты проблемами.

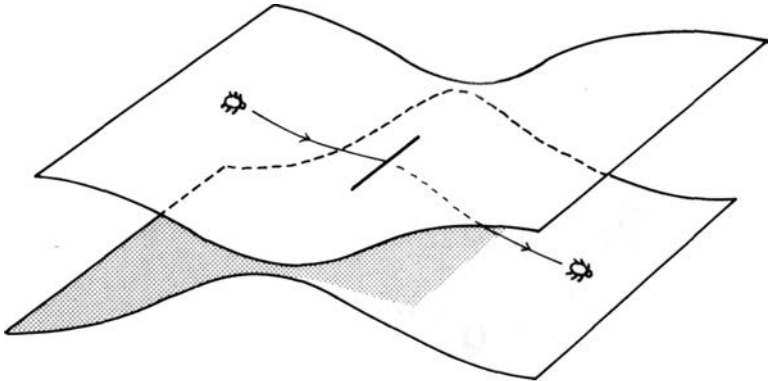


Рис. 2.4. Разрез Римана и два листа, соединенных друг с другом по одной линии. Если обойти разрез, мы останемся в пределах одного и того же пространства. Если пройти в разрез, мы перейдем с одного листа на другой. Таковы многосвязные пространства

Разрез Римана — пример «червоточины» (с нулевой длиной), соединяющей два пространства. Римановы разрезы с успехом применил математик Льюис Кэрролл в книге «Алиса в Зазеркалье». Зеркало — это и есть риманов разрез, соединяющий Англию и Страну чудес. Сегодня римановы разрезы сохранились в двух видах. Во-первых, о них упоминают в учебных курсах математики всего мира применительно к конформному отображению или теории электростатики.

Во-вторых, римановы разрезы фигурируют в сериале «Сумеречная зона» (следует отметить, что сам Риман никогда не рассматривал эти разрезы как средство перемещения между вселенными).

Наследие Римана

Риман упорно продолжал исследования в области физики. В 1858 г. он даже объявил, что наконец сформулировал единое описание для света и электричества. Он писал: «Я полностью убежден, что моя теория верна и что через несколько лет ее признают таковой»⁸. Несмотря на то что его метрический тензор стал эффективным средством описания любого изогнутого пространства в любом измерении, Риман не знал, каким именно уравнениям подчиняется этот метрический тензор; иначе говоря, он не знал, в результате чего лист стал скомканным.

К сожалению, стараниям Римана решить эту задачу неуклонно препятствовала мучительная бедность. Его успехи не приносили денег. В 1857 г. Риман перенес еще один нервный срыв. По прошествии многих лет его наконец назначили в Гёттингене на завидный пост, который ранее занимал Гаусс, но было уже слишком поздно. Жизнь в нужде подорвала здоровье Римана, и, подобно многим выдающимся математикам в истории человечества, он преждевременно скончался от истощения в возрасте 39 лет, не успев закончить свою геометрическую теорию гравитации, электричества и магнетизма.

Итак, Риман не просто заложил основы математики гиперпространства. Оглядываясь назад, мы видим, что Риман предвидел некоторые важные проблемы современной физики, а именно:

1. Он воспользовался многомерным пространством, чтобы упростить законы природы; т. е. для него электричество, магнетизм и гравитация были просто следствиями, вызванными деформацией, или искривлением гиперпространства.

2. Он предвидел появление концепции «червоточин». Римановы разрезы — простейшие примеры многосвязных пространств.
3. Он отображал гравитацию как поле. Поскольку метрический тензор описывает силу гравитации (посредством кривизны) в каждой точке пространства, то применительно к гравитации он представляет собой именно концепцию фарадеева поля.

Риман не сумел завершить свой труд, посвященный силовым полям, по той причине, что ему недоставало уравнений поля, которым подчиняются электричество, магнетизм и гравитация. Иными словами, он не знал, как именно должна быть скомкана Вселенная, чтобы создать силу гравитации. Он пытался сформулировать уравнения поля для электричества и магнетизма, но умер раньше, чем справился с этой задачей. К моменту смерти он так и не узнал способа вычислить степень искривления, необходимую для описания этих взаимодействий. Решающие открытия в этой сфере остались Максвеллу и Эйнштейну.

Жизнь в пространственной складке

Чары наконец рассеялись.

За свою короткую жизнь Риман успел снять заклятие, наложенное Евклидом за две тысячи лет до того. Метрический тензор Римана стал оружием, с помощью которого молодые математики могли бросить вызов «беотийцам», улюлюкающим при любом упоминании о многомерности. Тем, кто последовал по стопам Римана, стало легче высказываться о незримых мирах.

Вскоре начались исследования по всей Европе. Видные ученые взялись за популяризацию идеи для широкой публики. Герман фон Гельмгольц, вероятно, самый знаменитый немецкий физик того поколения, пораженный трудами Римана, много

и подробно писал, обращаясь к широкой аудитории и рассказывая о математике разумных существ, живущих на шаре или сфере.

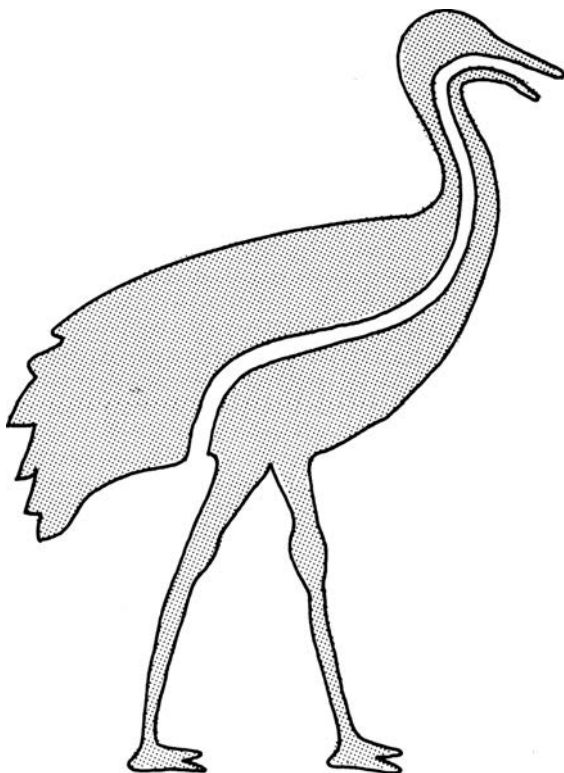


Рис. 2.5. Двумерное существо не может питаться. Пищеварительный тракт неизбежно делит его на две обособленные части, в итоге существо распадается

Согласно Гельмгольцу, эти существа, наделенные мышлением под стать нашему, независимо от нас обнаруживают, что все евклидовы постулаты и теоремы бесполезны. К примеру, на сфере сумма углов треугольника не составляет 180° . «Книжные черви», о которых первым заговорил Гаусс, теперь населяли двумерные сферы Гельмгольца. Гельмгольц писал, что «аксиомы геометрии должны меняться в зависимости от характера пространства, населенного существами, мыс-

лительные способности которых соответствуют нашим»⁹. Но в своих «Популярных лекциях о научных предметах» (1881 г.) Гельмгольц предупреждает читателей, что визуализировать четвертое измерение мы не можем. Он пишет, что «подобное представление так же невозможно, как невозможно рожденному слепым представить себе, что такое разные цвета»¹⁰.

Некоторые ученые, восхищенные элегантною решением Римана, пытались найти физическое применение столь мощному инструменту¹¹. Одни исследовали его применительно к высшим измерениям, другие обращались к более практичным и приземленным вопросам: например, как едят двумерные существа. Чтобы двумерные люди Гаусса могли питаться, их рты должны быть обращены вбок. Но если мы нарисуем их пищеварительный тракт, то заметим, что он полностью рассекает их тело (рис. 2.5). Таким образом, в процессе еды их тела разделяются на две части. В сущности, любая трубка, соединяющая два отверстия в их теле, будет делить их на две части, никак не скрепленные друг с другом. В результате мы встаем перед трудным выбором: либо эти люди едят так, как мы, и распадаются надвое, либо подчиняются другим законам биологии.

К сожалению, передовая риманова математика опережала сравнительно отсталую физику XIX в. Физической основы, которая направляла бы дальнейшие исследования, еще не существовало. Лишь в следующем веке физики догнали математиков. Но это не помешало ученым XIX в. строить бесконечные догадки о том, как выглядят существа из четвертого измерения. Вскоре они осознали, что жители четвертого измерения должны обладать почти божественными способностями.

Быть богом

Представьте, что вы наделены способностью проходить сквозь стены.

Вам больше незачем затрудняться, открывая двери: можно пройти прямо сквозь них. Незачем обходить вокруг зданий: можно войти в них прямо сквозь стены и опоры, пройти насквозь и выйти через заднюю стену. Незачем и объезжать горы, если можно двинуться через них напрямик. Проголодавшись, можно просто протянуть руку сквозь дверцу холодильника, не открывая его. Даже если вы забудете ключи в машине и захлопнете дверцу, то все равно сможете пройти сквозь нее и сесть за руль.

Представьте, что в ваших силах исчезать и появляться по своему желанию. Вместо того, чтобы проделывать весь путь до школы или до работы, можно просто исчезнуть дома и вновь материализоваться уже в классе или в офисе. Не нужен самолет, чтобы побывать в отдаленных уголках, — можно просто исчезнуть и вновь материализоваться, где захочется. В час пик незачем торчать в пробке — можно раствориться в воздухе вместе с машиной и снова материализоваться в пункте назначения.

Представьте, что у вас рентгеновский взгляд. Вы издалека способны видеть места катастроф. Исчезнув и вновь материализовавшись на месте любой такой катастрофы, вы увидите, где именно находятся пострадавшие, даже если они погребены под обломками.

Представьте, что вы способны проникнуть внутрь какого-либо предмета, не открывая его. Например, извлечь дольки из апельсина, не очищая его и не разрезая его. Вас будут восхвалять как виртуозного хирурга, которому не надо даже разрезать кожу, чтобы провести операцию на внутренних органах, в итоге значительно снижается не только боль, но и риск инфекции. Вам достаточно просто проникнуть внутрь организма пациента, пройти непосредственно сквозь кожу и выполнить сложную операцию.

Представьте, как распорядился бы всеми этими возможностями преступник. Он мог бы проникнуть даже в самый неприступный банк. Мог бы увидеть ценности и деньги за массивными дверями сейфа, попасть внутрь и забрать все,

что захочет. А потом преспокойно уйти, несмотря на простреливающие его насквозь пули охранников. Преступника с такими способностями не удержала бы ни одна тюрьма.

Скрывать от нас что-либо было бы бесполезно. Никто не сумел бы утаить от нас никакие сокровища. Нас не остановили бы никакие препятствия. Мы творили бы чудеса, демонстрировали мастерство, недоступное пониманию простых смертных. Мы сделали бы всемогущими.

Какое существо может обладать такой божественной силой? Ответ: существо из многомерного мира. Разумеется, все его подвиги недоступны тому, кто живет в мире трех измерений. Для нас стены непроницаемы, а тюремные решетки нерушимы. Попытка пройти сквозь стену завершится острой болью и разбитым в кровь носом. Но для обитателя четырехмерного мира все перечисленное — игра.

Для того чтобы понять, как можно совершить все эти удивительные трюки, вернемся к вымышленным двумерным существам Гаусса, поселив их на двумерной столешнице. Для того чтобы посадить преступника в тюрьму, флатландцам достаточно очертить вокруг него круг. Куда бы ни кинулся преступник, везде он будет наткаться на непреодолимое препятствие. Но нам проще простого вызволить этого узника из его темницы. Мы можем протянуть руку, схватить флатландца, отделить его от двумерного мира и перенести на другое место (рис. 2.6). Этот подвиг, совершенно заурядный в трех измерениях, выглядит фантастикой в двумерном мире.

Тюремщик увидит, что заключенный вдруг исчез из надежной, неприступной тюрьмы, растворившись в воздухе. А потом так же внезапно этот заключенный возникнет в другом месте. Если объяснить тюремщику, что заключенный был «поднят вверх», за пределы Флатландии, он не поймет, о чем речь. В словаре флатландцев нет понятия «вверх», представить себе, что это такое, они не в силах.

Схожим образом можно объяснить и другие действия и явления. К примеру, обратим внимание, что внутренние органы флатландца (например, желудок или сердце) для нас



Рис. 2.6. Во Флатландии «тюрьма» — круг, описанный вокруг заключенного. В двух измерениях бегство из этого круга невозможно. Но трехмерный человек может перенести флатландца из тюрьмы в третье измерение. Тюремщику наверняка покажется, что заключенный таинственным образом растворился в воздухе

полностью видимы — точно так же, как мы видим внутреннюю структуру клеток на предметном стекле под микроскопом. Поэтому несложно проникнуть внутрь флатландца и провести хирургическую операцию, не делая разрезов на коже. Кроме того, мы можем отделить флатландца от его плоского мира, повернуть другой стороной к себе и снова положить на плоскость. Отметим, что теперь его левые и правые органы поменялись местами, т. е. сердце находится справа (рис. 2.7).

Продолжая рассматривать Флатландию, мы убедимся, что здесь мы всемогущи. Даже если флатландец прячется

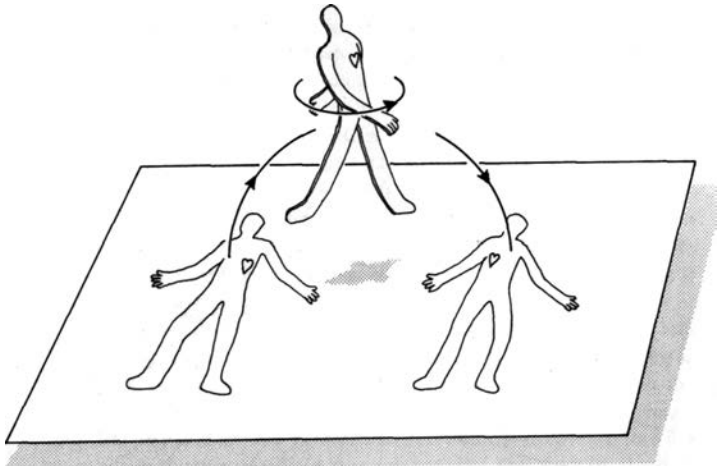


Рис. 2.7. Если отделить флатландца от его плоского мира и перевернуть в мире трех измерений, его сердце окажется с правой стороны. Все внутренние органы переместятся на противоположную сторону тела. Тот, кто существует строго в пределах Флатландии, не сможет преобразить организм таким образом по медицинским причинам

в доме или под землей, мы прекрасно видим его. Ему наши способности кажутся магическими, между тем мы-то знаем, что это не магия, а следствие более выгодного положения и угла зрения. (Такие «магические» действия в принципе возможны в сфере физики гиперпространства, однако мы считаем своим долгом вновь предупредить: техника и технологии, необходимые для манипуляций этим пространственно-временным континуумом, значительно превосходят все возможности землян, по крайней мере в ближайшие столетия. Возможно, эти манипуляции под силу каким-нибудь представителям внеземной жизни, значительно опережающим землян в развитии и владеющим технологиями управления источниками энергии, в квадрильоны раз превосходящими по мощности наши самые эффективные машины.)

Знаменитый доклад Римана был популяризован в работах Гельмгольца и многих других ученых, однако неспециали-

стам мало что могут дать эти объяснения или сведения о питании двумерных существ. Среднестатистический человек ставит вопрос более конкретно: какие существа могут проходить сквозь стены, видеть сквозь сталь и творить чудеса? Кто всемогущ и подчиняется законам, отличающимся от наших?

Ну, конечно, привидения!

В отсутствие какой-либо физической основы, обуславливающей введение высших измерений, теория четвертого измерения вдруг приобрела неожиданный оборот. Сейчас мы проследим странное, но важное отклонение в истории гиперпространства, изучим его неожиданное, но значительное влияние на искусство и философию. Этот экскурс в популярную культуру покажет, как мистики подсказали нам хитроумные способы визуализации многомерного пространства.

Привидения из четвертого измерения

Четвертое измерение вошло в общественное сознание в 1877 г., когда в Лондоне один судебный процесс приобрел скандальную славу международного масштаба.

Лондонские газеты широко и подробно освещали сенсационные заявления экстрасенса Генри Слейда и невероятный судебный процесс над ним. К этому нашумевшему процессу были привлечены самые видные физики тех времен. В результате такой огласки обсуждения четвертого измерения сошли с классных досок, исписанных математиками, и буквально выплеснулись в светское общество, превратились в тему застольных бесед всего Лондона. «Пресловутое четвертое измерение» стало притчей во языцех.

Все началось довольно безобидно, когда американский экстрасенс Слейд приехал в Лондон и провел несколько сеансов для влиятельных горожан. После этого Слейда арестовали за мошенничество и обвинили в «применении хитроумных устройств и уловок, ловкости рук и т.д.» с целью обмана клиентов¹². В любое другое время этот процесс прошел бы

незамеченным. Но лондонское общество было скандализовано и удивлено, когда известные физики выступили в защиту экстрасенса, утверждая, что его действия служат доказательством способности вызывать духов из четвертого измерения. Раздуванию скандала способствовал тот факт, что защитниками Слейда были не рядовые британские ученые, а величайшие физики мира. Многие из них в дальнейшем удостоились Нобелевской премии.

Ведущую роль в разжигании скандала сыграл Иоганн Цёлльнер, профессор физики и астрономии Лейпцигского университета. Именно Цёлльнер мобилизовал целую плеяду видных физиков и побудил их вступить за Слейда.

В способности мистиков развлекать салонными фокусами королевский двор и высший свет не было, конечно, ничего нового. Веками мистики утверждали, что способны вызывать духов, чтобы те читали послания в запечатанных конвертах, извлекали различные предметы из закупоренных бутылок, делали целыми сломанные спички и сцепляли вместе кольца. Странный поворот процессу придало то, что ученые утверждали, будто подобные фокусы возможны благодаря манипулированию предметами в четвертом измерении. В ходе этого процесса широкая публика впервые получила представление о том, что четвертое измерение помогает творить чудеса.

Цёлльнер заручился поддержкой всемирно известных физиков, причастных к Обществу паранормальных (психических) исследований и даже возглавлявших эту организацию, в том числе самых выдающихся ученых XIX в.: Уильяма Крукса, изобретателя катодно-лучевой трубки, ныне применяемой во всех телевизорах и мониторах компьютеров¹³; Вильгельма Вебера, сотрудника Гаусса и наставника Римана (в настоящее время международная единица магнитного потока носит официальное название «вебер» в честь него); Джозефа Джона Томпсона, удостоенного Нобелевской премии в 1906 г. за открытие электрона, и лорда Рэлея, признанного историками одним из величайших специалистов в области класси-

ческой физики конца XIX в., ставшего нобелевским лауреатом по физике в 1904 г.

В частности, Крукс, Вебер и Цёлльнер проявили особый интерес к деятельности Слейда, которого суд в конце концов признал виновным в мошенничестве. Однако Слейд утверждал, что может доказать свою невиновность, повторив фокусы перед ученым собранием. Заинтригованный Цёлльнер принял вызов. В 1877 г. был проведен ряд контролируемых экспериментов, чтобы проверить способность Слейда переносить предметы через четвертое измерение. Для оценки способностей Слейда Цёлльнер пригласил нескольких выдающихся ученых.

Сначала Слейду дали два отдельных цельных деревянных кольца. Сможет ли он продеть одно кольцо через другое, не сломав их и не нарушив их целостности другим способом? Если Слейд справится с этой задачей, писал Цёлльнер, это будет «чудо, т. е. явление, которое совершенно невозможно объяснить с помощью имевшихся у нас ранее представлений о физических и органических процессах»¹⁴.

Затем Слейду дали морскую раковину, закрученную в определенную сторону. Сумеет ли он превратить закрученную вправо раковину в закрученную влево, и наоборот?

И наконец, Слейду дали замкнутую сплошную петлю из высушенных кишок животного. Удастся ли ему сделать узел на петле, не разрезая ее?

Кроме того, Слейду предложили тесты других видов. Например, на веревке был завязан правосторонний узел, концы веревки были скреплены воском с оттиснутой на нем личной печатью Цёлльнера. Слейда попросили развязать узел, не нарушая целостности восковой печати, и снова завязать веревку, но уже левосторонним узлом. Поскольку узлы можно развязать в четвертом измерении, для того, кто имеет с ним дело, такая задача не составит труда. Еще Слейда попросили извлечь содержимое из запечатанной бутылки так, чтобы бутылка осталась целой.

Сумел ли Слейд продемонстрировать удивительные способности?

Магия в четвертом измерении

Сегодня мы понимаем, что манипуляции многомерным пространством, на которые претендовал Слейд, потребовали бы технологии гораздо более развитой, чем возможна на нашей планете в обозримом будущем. Этот скандальный случай примечателен другим: тем, что Цёлльнер сделал правильный вывод — удивительные чудеса Слейда возможны лишь в том случае, если кудесник каким-то образом способен перемещать предметы через четвертое измерение. Следовательно, с образовательной точки зрения эксперименты Цёлльнера наглядны и достойны обсуждения.

К примеру, в мире трех измерений отдельные кольца нельзя соединить, продев одно через другое, не сломав их. Точно так же и замкнутые веревочные петли нельзя связать узлами, не разрезая их. Любой бойскаут или герлскаут, кому доводилось сражаться с узлами ради получения отличительного значка, знает, что избавиться от узлов на замкнутой веревочной петле нельзя. Но в высших измерениях узлы легко распутываются, а кольца — сплетаются. Это происходит благодаря наличию «дополнительного пространства», где веревки проходят одна мимо другой, а кольца соединяются друг с другом. Если четвертое измерение существует, петли и кольца можно перенести в него из нашей Вселенной, переплести, а затем снова вернуть в наш мир. В сущности, узлы не могут оставаться связанными в четвертом измерении. Их всегда можно развязать, не разрезая веревку. Сделать это в трехмерном мире невозможно, зато очень просто в четырехмерном. Оказывается, третье измерение — единственное, в котором узлы остаются завязанными. (Доказательство этого довольно неожиданного вывода дано в примечаниях¹⁵.)

Точно так же в трех измерениях невозможно превратить строго левосторонний предмет в правосторонний. Люди рождаются с сердцем слева в груди, и никакой хирург, каким бы искусным он ни был, не в состоянии поменять местами человеческие внутренние органы. Это возможно (как впервые ука-

зал математик Август Мёбиус в 1827 г.), только если мы извлечем организм из нашей Вселенной, повернем его в четвертом измерении и снова вернем в привычный мир. Два из этих фокусов показаны на рис. 2.8; их можно выполнить, только если удастся перенести предметы в четвертое измерение.

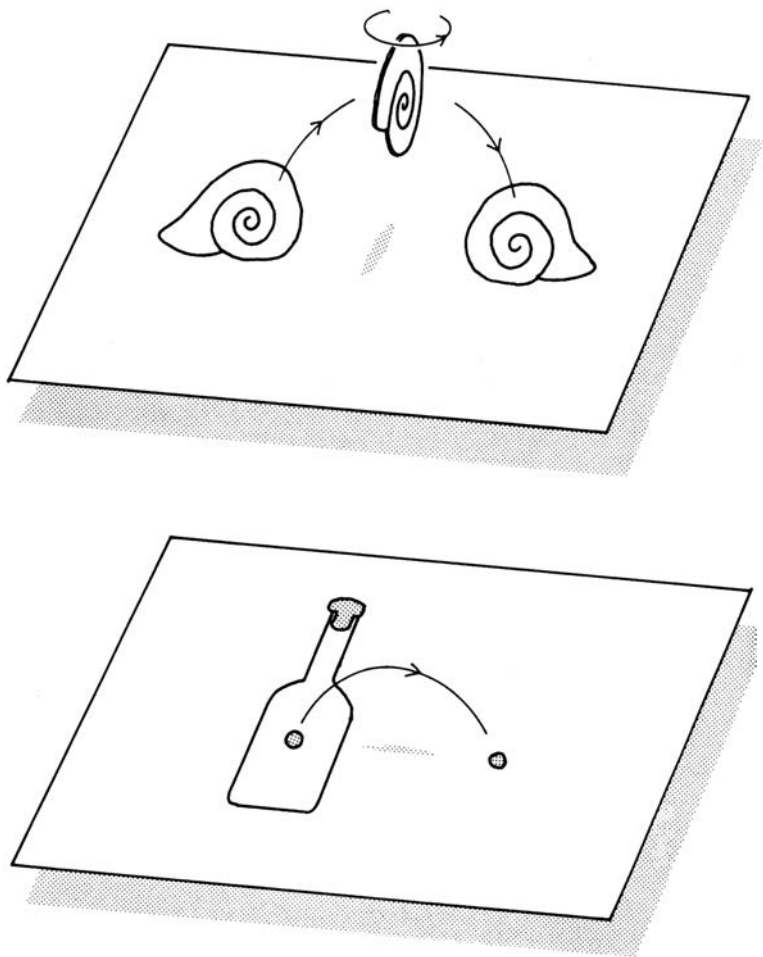


Рис. 2.8. Мистик Генри Слейд утверждал, что ему под силу превращать правосторонние раковины в левосторонние и извлекать предметы из запечатанных бутылок. В мире трех измерений и то и другое невозможно, однако подобные действия предельно просты при переносе предметов через четвертое измерение

Раскол в научном сообществе

Цёлльнер спровоцировал бурную полемику, утверждая в журналах *Quarterly Journal of Science* и *Transcendental Physics*, что Слейд ошеломил своих зрителей «чудесными» фокусами во время выступлений в присутствии выдающихся ученых. (Но на самом деле Слейд провалил эксперименты, проведенные под контролем.)

Воодушевление, с которым Цёлльнер встал на защиту удивительных способностей Слейда, произвело сенсацию в лондонском обществе. (В сущности, это был только один из нескольких широко известных инцидентов XIX в. с участием спиритуалистов и медиумов. Викторианская Англия питала явную слабость к оккультизму.) Ученые, как и публика в целом, вскоре разделились на сторонников и противников. Цёлльнера поддерживал круг ученых с прочной репутацией, в том числе Вебер и Крукс — маститые ученые и опытные экспериментаторы. Всю жизнь они наблюдали за природными явлениями, а теперь у них на глазах Слейд выполнял трюки, возможные лишь в том случае, если четвертое измерение населено духами.

Однако противники Цёлльнера указывали, что ученые, привыкшие доверять своим органам чувств, хуже, чем кто-либо, способны раскусить фокусника. Иллюзионист специально учится отвлекать, обманывать, сбивать с толку те же самые органы чувств. Ученый может внимательно следить за правой рукой фокусника, а в это время трюк втайне выполнит левая рука. Критики также заявляли, что лишь другому фокуснику под силу разоблачить коллегу, понять, в чем заключается ловкость его рук. Только вор может поймать за руку вора.

В одной особенно ядовитой статье, опубликованной в научном ежеквартальном журнале *Bedrock*, критика была направлена в адрес двух других видных физиков, сэра Уильяма Барретта и сэра Оливера Лоджа, а также их работ в области телепатии. Автор статьи был беспощаден:

Совсем не обязательно либо считать необъяснимым феномен так называемой телепатии, либо ненормальным психиче-

ское состояние сэра Уильяма Барретта и сэра Оливера Лоджа. Можно предположить и третье. *Стремление верить* стало причиной их готовности принять свидетельства, полученные при условиях, которые они сами признали бы несостоятельными, если бы имели представление об экспериментальной психологии.

Более века спустя те же самые доводы «за» и «против» звучали в спорах о трюках израильского менталиста Ури Геллера, убедившего двух авторитетных ученых из Стэнфордского исследовательского института в Калифорнии, что он умеет сгибать ключи силой одной только мысли и творить другие чудеса. (В комментариях некоторые ученые повторяли высказывание, восходящее к временам древних римлян: «*Populus vult decipi, ergo decipiatur*» — «Люди хотят быть обманутыми, следовательно, будут обмануты».)

Страсти, бушующие в британском научном сообществе, спровоцировали оживленные дебаты, быстро распространившиеся и по другую сторону Ла-Манша. К сожалению, за несколько лет, прошедших после смерти Римана, ученые успели забыть о его изначальной цели — упростить законы природы с помощью высших измерений. В результате теория многомерности продолжала развиваться в интересных, но спорных направлениях. Этот урок имеет большое значение. Без ясной физической мотивации или направляющей физической картины чисто математические концепции порой заводят в сферу спекуляций.

Тем не менее эти десятилетия не были полностью потерянными: математики и мистики, такие как Чарльз Хинтон, разработали немало оригинальных способов «увидеть» четвертое измерение. В конце концов всепроникающее влияние четвертого измерения описало полный круг и оплодотворило мир физики.

3

Человек, который «видел» четвертое измерение

К 1910 г. четвертое измерение стало практически обиходным выражением... Видоизменяясь от идеальной платоновской или кантовской реальности — или даже небес! — этот ответ на все проблемы, озадачивающие современную науку, — четвертое измерение — годился на любой вкус, для любого случая.

Линда Далримпл Хендерсон

Вызванное процессом «пресловутого мистера Слейда» кипение страстей, вероятно, не могло не привести к появлению бестселлера.

В 1884 г., по прошествии десяти лет колких споров, теолог и священник Эдвин Эбботт, директор Школы лондонского Сити, написал на удивление удачный и живучий роман «Флатландия. Роман о четвертом измерении с иллюстрациями автора, Квадрата»*. Ввиду живого интереса публики к многомерности книга мгновенно завоевала успех в Англии, к 1915 г.

* Ничего странного не было в том, что этот роман написало духовное лицо: теологи англиканской церкви одними из первых ввязались в бой, вызванный сенсационным процессом. Бессчетное множество веков священники искусно уклонялись от таких вечных вопросов, как «Где находятся рай и ад?» и «Где живут ангелы?». Теперь же они нашли удобное место для этих «небесных тел» — четвертое измерение. Христианский спиритуалист А.Т. Скофилд в своем труде 1888 г. «Другой мир» пространно доказывал, что Бог и духи пребывают в четвертом измерении¹. Не желая отставать, в 1893 г. теолог Артур Уиллинк опубликовал трактат «Мир незримого», в котором утверждал, что пребывать в низменном четвертом измерении недостойно Бога. По мнению Уиллинка, единственным местом, достойным Бога, является пространство с бесконечным количеством измерений². — *Прим. авт.*

выдержала девять переизданий, а на сегодняшний момент их количество не поддается подсчету.

Роман «Флатландия» примечателен тем, что Эбботт первым воспользовался полемикой вокруг четвертого измерения как поводом для хлесткой социальной критики и сатиры. Под прицелом иронических нападок Эбботта очутились косные и богобоязненные лица, отказывающиеся признавать саму возможность существования других миров. «Книжные черви» Гаусса превратились в флатландцев. «Беотийцы», которых он так боялся, стали Высшими Жрецами, с рвением и беспристрастностью испанской инквизиции преследующими каждого, кто осмеливался хотя бы упомянуть о невидимом третьем измерении.

«Флатландия» Эбботта — слегка завуалированная критика изоциренного ханжества, нетерпимости и удушающего предубеждения, господствующих в викторианской Англии. Герой романа, мистер Квадрат, — консервативный джентльмен, живущий в социально расслоенной двумерной стране, все граждане которой — геометрические объекты. Женщины, занимающие низшее положение в обществе, — просто линии, знать — многоугольники, Высшие Жрецы — окружности. Чем больше у флатландца сторон, тем выше его положение в обществе.

Любые обсуждения третьего измерения строго запрещены. Каждого, кто упомянет о нем, ждет суровое наказание. Мистер Квадрат — самодовольный и уверенный в своей правоте флатландец, которому и в голову не приходит указывать истеблишменту на несправедливость. Но однажды его жизнь круто меняется раз и навсегда: ему наносит визит таинственный лорд Сфера, трехмерное тело. Лорд Сфера предстает перед мистером Квадратом как окружность, волшебным образом способная менять размер (рис. 3.1).

Лорд Сфера терпеливо пытается объяснить, что он прибыл из другого мира, называемого Пространством, где все объекты трехмерны. Но убедить мистера Квадрата ему так и не удастся: флатландец упрямо продолжает отвергать саму идею суще-

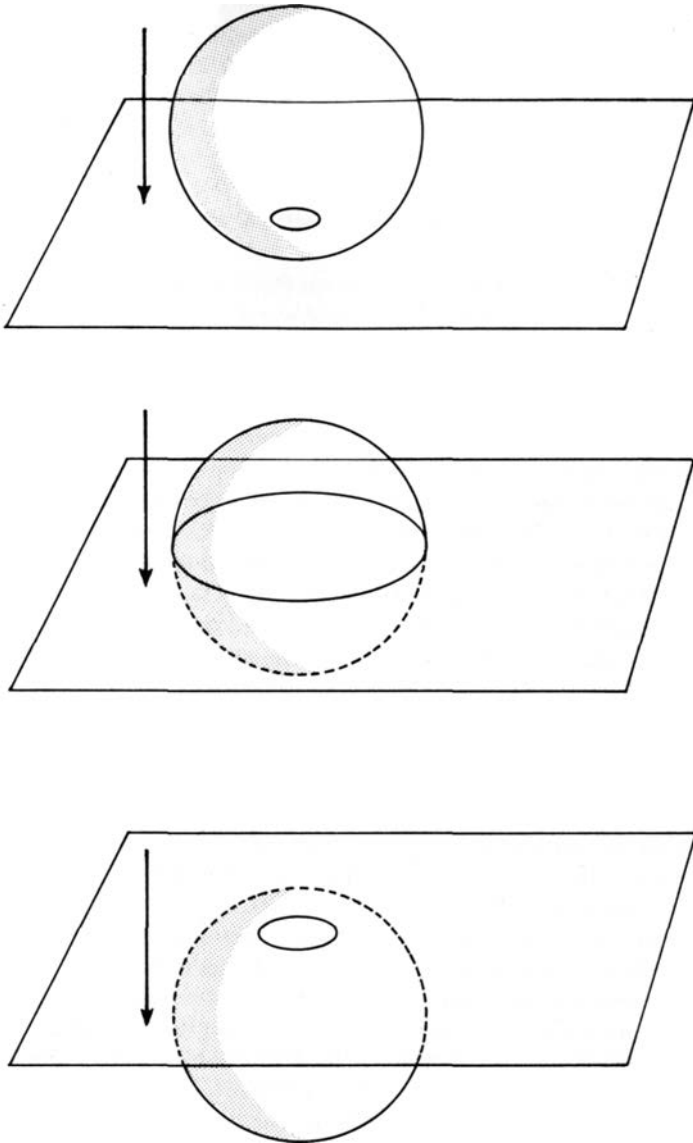


Рис. 3.1. Во Флатландии мистер Квадрат встречается лорда Сферу. Проходя через Флатландию, лорд Сфера выглядит как окружность, которая сначала увеличивается в размерах, а затем уменьшается. Таким образом, флатландцы не в состоянии представить себе трехмерные существа, но могут понять, каковы они в поперечном сечении

ствования третьего измерения. В досаде лорд Сфера решает перейти от слов к делу. Он отделяет Квадрат от двумерной Флатландии и переносит его в Пространство. Это поразительное, почти мистическое событие кардинально меняет жизнь мистера Квадрата.

Поскольку плоский мистер Квадрат парит в третьем измерении как лист бумаги, увлекаемый ветром, он может вообразить себе лишь двумерный срез Пространства. Мистеру Квадрату, который видит лишь поперечные сечения трехмерных объектов, предстает удивительный мир, в котором предметы меняют форму и даже исчезают в воздухе, а затем вновь возникают из него. Но, когда он пытается рассказать товарищам-флатландцам о чудесах, увиденных в мире трех измерений, Высшие Жрецы признают его одержимым бунтарем, болтающим всякую чепуху. Мистер Квадрат представляет угрозу для Высших Жрецов, так как смеет бросить вызов их авторитету и священной вере в то, что существовать могут лишь два измерения.

Роман заканчивается на пессимистической ноте. Несмотря на всю убежденность мистера Квадрата, что он действительно побывал в трехмерном мире, Пространстве, его отправляют в тюрьму, где ему суждено провести остаток своих дней в одиночном заключении.

Званный ужин в четвертом измерении

Значение романа Эбботта в том, что это был первый рассказ о посещении многомерного мира, получивший широкую известность. Описание психоделического путешествия мистера Квадрата в Пространство отличается математической точностью. В популярной литературе и кино путешествия из одного измерения в другое через гиперпространство часто изображают с помощью слепящих огней, темноты, водоворота облаков. Однако математика многомерных путешествий гораздо интереснее плодов воображения авторов художе-

ственных произведений. Чтобы составить мнение о переходе между измерениями, представьте себе, как мистера Квадрата отделили от Флатландии и подбросили в воздух. Допустим он, пролетая по нашему трехмерному миру, сталкивается с человеком. Какими мы кажемся Квадрату?

Поскольку его двумерные глаза способны видеть лишь плоские срезы нашего мира, любой человек будет представляться ему необыкновенно уродливым и пугающим. Сначала Квадрат может увидеть два кожаных круга, зависших перед ним, — нашу обувь. Поднимаясь выше, он заметит, что эти два круга меняют цвет и становятся тканевыми (наши брюки). Потом эти два круга объединятся в один (нашу талию), после чего разделится на три тканевых круга и опять изменят цвет (наша рубашка и наши руки). Продолжая лететь вверх, Квадрат увидит, как три круга ткани срастутся, превратятся в один круг плоти меньшего размера (нашу шею и голову). И наконец, этот круг из плоти станет кругом из волос, а потом вдруг исчезнет, когда Квадрат взлетит выше человеческой головы. Для Квадрата загадочные «люди» окажутся кошмарным, совершенно беспорядочным нагромождением постоянно меняющихся кругов, сделанных из кожи, ткани, плоти и волос.

Так и мы, будучи отделенными от нашей трехмерной Вселенной и заброшенными в четвертое измерение, обнаружим, что здравый смысл перестал служить нам. Проплывая по четвертому измерению, мы будем видеть, как перед нами неизвестно откуда возникают какие-то сгустки. Они постоянно меняют цвет, размер и состав, опровергая все законы логики, действующие в нашем трехмерном мире. Эти объекты исчезают в воздухе, а на смену им неизвестно откуда возникают новые.

Если бы нас пригласили на званый ужин в четвертом измерении, как мы стали бы различать остальных приглашенных? По различиям в изменении сгустков. У каждого обитателя высшего измерения обнаружилась бы своя, характерная для него последовательность изменения сгустков. Со временем мы научились бы узнавать эти существа, обращая внимание на определенные закономерности в изменении разме-

ров и цветов. Посещение званых ужинов в гиперпространстве может оказаться утомительным занятием.

Классовая борьба в четвертом измерении

К концу XIX в. интеллектуальная атмосфера была настолько заражена идеей четвертого измерения, что над ней потешались даже драматурги. В 1891 г. Оскар Уайльд написал пародию на истории о призраках «Кентервильское привидение», высмеивая исследования доверчивых членов некоего Паранормального общества (едва завуалированная отсылка к Обществу паранормальных исследований Крукса). Уайльд писал о многострадальном привидении, столкнувшемся с новыми хозяевами Кентервильского замка, семьей американцев: «В такой ситуации нельзя было терять ни минуты, и дух, прибегнув к четвертому пространственному измерению, поспешно ретировался, исчезнув через деревянную стенную панель, после чего в доме все стало тихо»*.

Более серьезный вклад в литературу о четвертом измерении внес Герберт Уэллс. Он прославился преимущественно научно-фантастическими произведениями, но вместе с тем играл заметную роль в интеллектуальной жизни лондонского света, привлекая к себе внимание литературной критикой, обзорами, остроумием. В его романе 1894 г. «Машина времени» сочетаются несколько математических, философских и политических тем. Уэллс популяризировал новую идею в науке — что четвертое измерение можно рассматривать как временное, а не обязательно пространственное**:

Очевидно, что... каждое реальное тело должно обладать четырьмя измерениями: оно должно иметь длину, ширину, высоту и про-

* Пер. В. Чухно. — *Прим. пер.*

** Уэллс не первым предположил, что время можно рассматривать как четвертое измерение нового типа, отличное от пространственных. Жан д'Аламбер называл время четвертым измерением в написанной для Энциклопедии Дидро статье 1754 г. «Размерность». — *Прим. пер.*

должительность существования. Но вследствие прирожденной ограниченности нашего ума мы не замечаем этого факта. И все же существуют четыре измерения, из которых три мы называем пространственными, а четвертое — временным. Правда, существует тенденция противопоставить три первых измерения последнему, но только потому, что наше сознание от начала нашей жизни и до ее конца движется рывками лишь в одном направлении этого последнего измерения*³.

Подобно «Флатландии», «Машина времени» обязана длительностью своего успеха (даже по прошествии столетия после публикации) содержащейся в ней острой политической и социальной критике. Герой Уэллса выясняет, что Англия 802701 года — отнюдь не сияющая цитадель чудес современной науки, как предрекали позитивисты. Будущая Англия — страна, где результаты классовой борьбы оказались плачевными. Рабочий класс в ней жестокими мерами вынудили жить под землей, где он постепенно выродился в новую, звероподобную расу морлоков, в то время как правящий класс со своей неводержанностью продолжал разлагаться и превратился в бесполезную расу эльфоподобных существ, элоев.

Уэллс, видный социалист-фабианец, воспользовался четвертым измерением, чтобы продемонстрировать итоговый парадокс классовой борьбы. Общественный договор между бедными и богатыми принял извращенную форму. Работающие морлоки кормят и одевают бесполезных элоев, пока наконец последних не настигает возмездие: элоев пожирают морлоки. Иными словами, четвертое измерение становится фоном для марксистской критики современного общества, но с уклоном в художественный вымысел: рабочий класс не разрывает надетые на него богачами цепи рабства, как предсказывал Маркс. Богачей просто съедают.

В коротком «Рассказе Платнера» Уэллс даже обыгрывает парадокс доминирования той или иной руки. Преподаватель естествознания Готфрид Платнер проводит сложный химиче-

* Пер. К. Морозова. — Прим. пер.

ский опыт, но в результате взрыва при этом опыте перемещается в другую вселенную. А когда возвращается из иного мира в привычный, то обнаруживает, что его организм примечательным образом изменился: сердце теперь находится справа, преобладает леворукость. Обследуя его, врачи с изумлением обнаруживают, что все его внутренние органы развернуты на 180° — немыслимое явление в биологии нашего трехмерного мира: «Курьезная перестановка левой и правой стороны — доказательство, что Платнер перенесся из нашего измерения в другое, называемое четвертым, а затем вернулся в наш мир». Однако Платнер отказался предоставить свой труп после смерти для вскрытия и изучения, тем самым «отдалив, возможно, навсегда, получение убедительных доказательств тому, что левая и правая стороны его тела полностью поменялись местами».

Уэллс прекрасно знал, что существуют два способа представить себе, каким образом «левые» предметы можно преобразить в «правые». К примеру, флатландца можно приподнять над его миром, повернуть и снова поместить во Флатландию, таким образом изменив положение его органов. Флатландцы могут также жить на ленте Мебиуса — полосе бумаги, один конец которой повернут на 180° , а затем концы склеены вместе. Если флатландец пройдет по ленте Мебиуса и вернется на прежнее место, то обнаружит, что его левосторонние и правосторонние органы поменялись местами (рис. 3.2). Ленты Мебиуса обладают и другими удивительными свойствами, привлекавшими ученых в прошлом веке. К примеру, если пройти по поверхности ленты и вернуться в исходную точку, то окажется, что у ленты лишь одна сторона. Кроме того, если разрезать ленту пополам по осевой линии, она останется целой. Это явление породило математический лимерик:

Ленту Мебиус сделал такой:
Не с двумя, а с одной стороной.
Коль втемяшится вам
Резать вдоль пополам,
То останется лента сплошной.

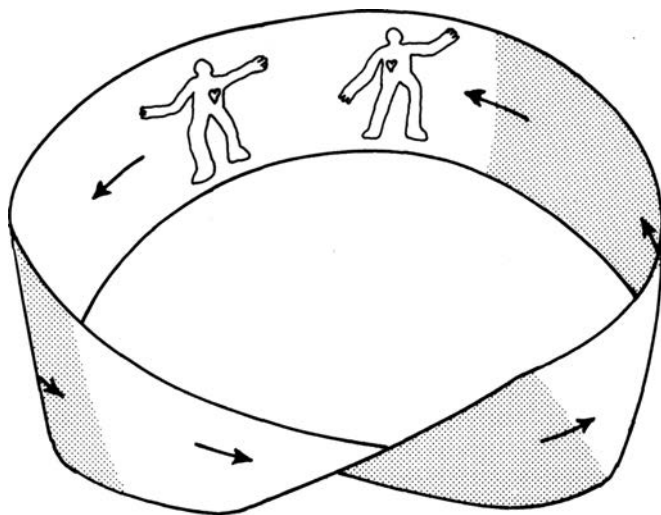


Рис. 3.2. У ленты Мебиуса только одна сторона. Ее внутренняя и внешняя стороны идентичны. Если флатландец пройдет по ленте Мебиуса, органы левой и правой сторон его тела поменяются местами

В классическом романе «Человек-невидимка» Уэллс высказал предположение, что человек может даже стать невидимым с помощью некоего фокуса — «формулы, геометрического выражения, включающего четыре измерения». Уэллс знал, что флатландец исчезает, будучи отделенным от двумерной Вселенной, так и человек может стать невидимым, если каким-то образом перенесется в четвертое измерение.

В коротком рассказе «Замечательный случай с глазами Дэвидсона» Уэллс развивает мысль о том, что «щели в пространстве» могли бы позволить человеку видеть то, что происходит на огромных расстояниях. Герой рассказа Дэвидсон однажды обнаруживает, что наделен неожиданным умением видеть, что творится на далеком острове в южных морях. Эта «щель в пространстве» — пространственное искажение, через которое свет из южных морей проникает в гиперпространство и попадает в глаза Дэвидсона, находящегося в Англии. Таким образом, Уэллс пользуется «червоточинами» Римана как литературным приемом в художественной прозе.

В «Чудесном посещении» Уэллс исследует предположение, что рай существует в параллельном мире. Сюжет развивается вокруг ситуации, в которой оказывается ангел, случайно упав с небес на землю в английской деревушке.

Популярность произведений Уэллса повлекла за собой появление нового жанра в художественной литературе. Джордж Макдональд, друг математика Льюиса Кэрролла, также полагал, что рай может находиться в четвертом измерении. В романе-фэнтези Макдональда «Лилит», написанном в 1895 г., герой с помощью зеркал и отражений создает окно, ведущее из нашей Вселенной в другие миры. В романе 1901 г. «Наследники» (The Inheritors) Джозефа Конрада и Форда Мэдокса Форда раса суперменов из четвертого измерения вторгается в наш мир. Жестокие и бесчувственные, они начинают захватывать его.

Четвертое измерение как искусство

Период с 1890 по 1910 г. можно считать золотым веком четвертого измерения. Именно в это время идеи, высказанные Гауссом и Риманом, распространились в литературных кругах, внедрились в сознание широкой публики, оказали воздействие на тенденции в живописи, литературе, философии. Многомерность оказала глубокое влияние на новое направление философии — теософию.

С одной стороны, серьезно настроенные ученые сожалели о таком развитии событий, поскольку теперь точные результаты трудов Римана превратились в заголовки для бульварных изданий. С другой стороны, популяризация четвертого измерения имела положительную сторону. Благодаря ей доступными широкой публике стали не только достижения математики: четвертое измерение как метафора могло обогащать культурные течения и служить их «перекрестному опылению».

Историк искусств Линда Далримпл Хендерсон в работе «Четвертое измерение и неевклидова геометрия в совре-

менном искусстве» подробно рассматривает эти вопросы и утверждает, что четвертое измерение оказало решающее влияние на развитие кубизма и экспрессионизма в живописи. Она пишет: «В среде кубистов — вот где развилась первая и наиболее последовательная теория искусства, опирающаяся на новую геометрию»⁴. Для представителей авангарда четвертое измерение стало символом бунта против крайностей капитализма. Они воспринимали его гнетущий позитивизм и вульгарный материализм как препятствия для творческого самовыражения. К примеру, кубисты бунтовали против недопустимого высокомерия ревнителей науки, в котором видели дегуманизацию творческого процесса.



Рис. 3.3. Одна из сцен на гобелене изображает испуганных английских воинов, указывающих на странное явление в небе (комету Галлея). Человеческие фигуры плоские, как на большинстве живописных работ времен Средневековья. Эта сцена символизирует всемогущество Бога. Подобные рисунки были двумерными (Giroudon/Art Resource)

Представители авангарда ухватились за идею четвертого измерения как подходящее орудие и средство. С одной стороны, четвертое измерение предельно широко раздвигало границы современной науки. Оно было научнее самих ученых.

С другой стороны, оно было загадочно. Акции под лозунгом четвертого измерения послужили уроком для всезнаек-позитивистов. В частности, они приняли форму восстания художников против законов перспективы.

В Средние века религиозную живопись отличало намеренное отсутствие перспективы. Холопов, крестьян, королей изображали плоскими, как дети обычно рисуют людей. Эти изображения в целом отражали представление церкви о том, что Бог всемогущ, следовательно, способен одинаково видеть весь наш мир. Живопись должна была соответствовать этой точке зрения, поэтому мир рисовали двумерным. Так, на знаменитом гобелене из Байё (рис. 3.3) суверенные воины английского короля Гарольда II в благоговейном ужасе указывают на зловещую комету, появившуюся в небесах в апреле 1066 г., убежденные, что она предвещает неминуемое поражение. (Спустя шесть столетий та же комета была названа кометой Галлея.) В дальнейшем Гарольд проиграл битву при Гастингсе, королем Англии стал Вильгельм Завоеватель, вместе с ним началась новая глава английской истории. На гобелене из Байё, как и на других образцах средневековой живописи, руки и лица воинов Гарольда плоские, словно поверх них положили лист стекла, придавив к ткани гобелена.

Живопись Ренессанса стала бунтом против богоцентрической перспективы, начался расцвет человекоцентрического искусства с масштабными ландшафтами и реалистичными трехмерными людьми, написанными так, как их видит наблюдатель. Во всесторонних исследованиях перспективы, предпринятых Леонардо да Винчи, мы видим, что линии на его набросках сходятся в одну точку на горизонте. Живопись Ренессанса отражала взгляд на мир глазами наблюдателя, представленный с единственной точки зрения. На фресках Микеланджело и набросках да Винчи мы видим крепкие, внушительные фигуры, словно выступающие из двумерного мира. Иначе говоря, живопись Ренессанса открыла третье измерение (рис. 3.4).

С началом века машин и капитализма мир живописи поднял бунт против холодного материализма, преобладающего

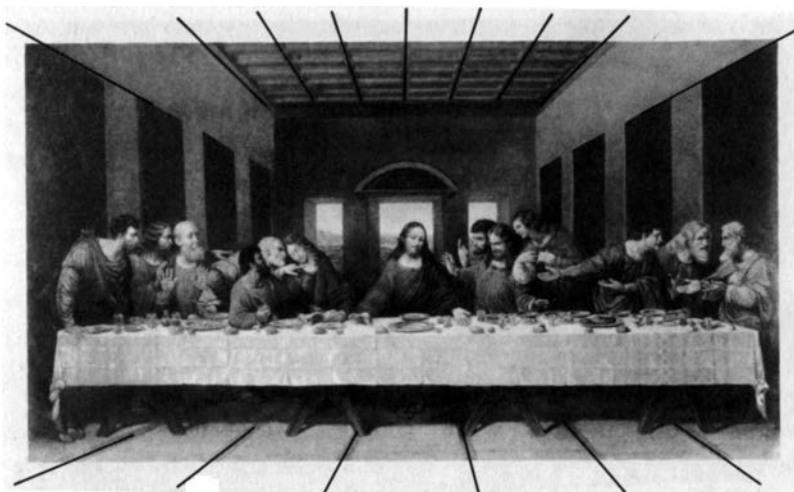


Рис. 3.4. Во времена Ренессанса живописцы открыли для себя третье измерение. Картины стали писать с соблюдением законов перспективы как видимые с наблюдательного пункта единственным глазом, но не божьим. Обратите внимание: все линии на фреске Леонардо да Винчи «Тайная вечеря» сходятся в точку на горизонте (Bettmann Archive)

в индустриальном обществе. Для кубистов идеология позитивизма была подобием смирительной рубашки, низводящей нас до уровня объекта, который можно исследовать в лаборатории, подавляя плоды нашего воображения. Кубисты задавались вопросом: с чего вдруг живопись обязана быть предельно «реалистичной»? Этот кубистский «бунт против перспективы» сопровождался признанием четвертого измерения, поскольку оно затрагивало третье измерение со всех возможных сторон. Попросту говоря, кубисты приняли четвертое измерение и начали применять его.

Прекрасный пример тому — картины Пикассо, свидетельствующие о явном отрицании перспективы, картины с женскими лицами, видимыми под несколькими углами одновременно. Вместо единственной точки зрения картины Пикассо демонстрируют множество таких точек, словно написаны тем,

кто находится в четвертом измерении и может видеть несколько перспектив одновременно (рис. 3.5).

Однажды в поезде с Пикассо заговорил незнакомец, узнавший его. Этот незнакомец сокрушался: почему бы Пикассо не рисовать людей такими, какие они на самом деле? Зачем искажать их внешний облик? Тогда Пикассо попросил собеседника показать фотографии его близких. Рассмотрев снимок, Пикассо спросил: «Ваша жена в самом деле такая маленькая и плоская?» По мнению Пикассо, степень «реалистичности» любой картины определяется взглядом наблюдателя.

Художники-абстракционисты не только пытались представить человеческие лица такими, словно их нарисовал пришелец из четвертого измерения, но и считали этим четвертым измерением время. На картине Марселя Дюшана «Обнаженная, спускающаяся по лестнице» мы видим размытое изображение женщины и бесконечное множество других изображений, наложенных за то время, пока она спускалась по лестнице. Такими должен видеть людей человек из четырехмерного мира: ему сразу представляются временные последовательности, как будто время и есть четвертое измерение.

В 1937 г. критик-искусствовед Мейер Шапиро подводил итог влиянию новой геометрии на мир искусства и писал: «Как открытие неевклидовой геометрии придало мощный импульс развитию взглядов, согласно которым математика не зависит от существования, так и абстрактная живопись нанесла удар по классическим представлениям о художественном подражании». Или, как говорила историк искусства Линда Хендерсон, «четвертое измерение и неевклидова геометрия вошли в число важнейших тем, во многом объединяющих теорию и практику современного искусства»⁵.

Большевики и четвертое измерение

В царской России четвертое измерение приобрело известность благодаря трудам мистика Петра Успенского, познакомившего

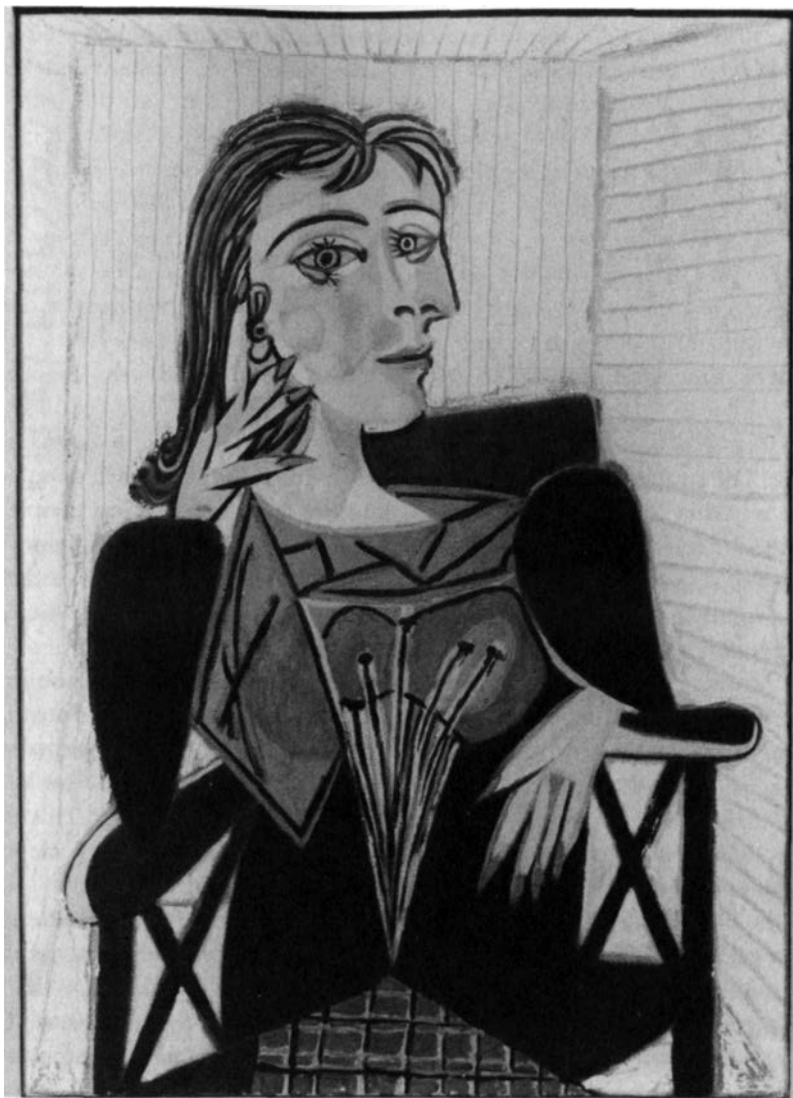


Рис. 3.5. Четвертое измерение оказало существенное влияние на кубизм. Так, художники пытались представить действительность, видимую глазами гостя из четырехмерного мира. Глядя на человеческое лицо, этот гость увидел бы его одновременно во всех ракурсах. Следовательно, оба глаза были бы видны четырехмерному гостю одновременно, как на картине Пикассо «Портрет Доры Маар» (Giraudon/Art Resource. 1993. Arts, New York/Spadern, Paris)

российских интеллектуалов с тайнами этого измерения. Влияние этой темы ощущалось настолько отчетливо, что Федор Достоевский в «Братьях Карамазовых» заставил одного из персонажей, Ивана Карамазова, строить догадки о существовании высших измерений и неевклидовой геометрии в ходе спора о существовании Бога.

Из-за исторических событий, которые разворачивались в России в то время, четвертое измерение сыграло курьезную роль в большевистской революции. Сейчас эта неожиданная интермедия в истории науки имеет значение по той причине, что Владимир Ленин вступил в дискуссию по поводу четвертого измерения и его участие в ней оказывало в конечном итоге существенное влияние на науку бывшего Советского Союза в последующие 70 лет⁶. (И конечно, российские физики сыграли решающие роли в развитии современной теории десяти измерений.)

После жестокого подавления царем революции 1905 г. в партии большевиков возникла фракция так называемых «отзовистов», или «богостроителей». Они утверждали, что крестьянство не готово к социализму; обеспечивая такую подготовку, большевики должны обращаться к ним посредством религии и спиритуализма. В подкрепление своих еретических взглядов богостроители ссылались на труды немецкого физика и философа Эрнста Маха, который красноречиво писал о четвертом измерении и незадолго до того открытом новом загадочном свойстве материи, названном радиоактивностью. Богостроители напоминали, что открытие радиоактивности французским ученым Анри Беккерелем в 1896 г. и открытие радия Марией Кюри в 1896 г. вызвали яростные философские споры во французских и немецких литературных кругах. Оказалось, что материя способна постепенно распадаться, а энергия — возникать вновь (в виде радиации).

Бесспорно, новые опыты по изучению радиации показали, что фундамент ньютоновской физики дал трещину. Материя, которую древние греки считали вечной и неизменной, теперь распадалась у нас на глазах. Вопреки общепринято-

му убеждению, уран и радий изменялись в лабораторных условиях. Кое-кто счел Маха пророком, способным вывести людей из чащи невежества. Однако он указывал не в ту сторону, отрицал материализм и объявлял пространство и время плодами наших органов чувств. Напрасно он уточнял: «Я надеюсь, что никто не будет защищать какую-либо чертовщину при помощи того, что я говорил и писал по этому вопросу»⁷.

Раскол в рядах большевиков усиливался. Лидер большевиков Владимир Ленин был в ужасе. Разве призраки и демоны совместимы с социализмом? В 1908 г., во время изгнания в Женеву, он написал грандиозный философский труд «Материализм и эмпириокритицизм», защищая диалектический материализм от нападков мистиков и метафизиков. По мнению Ленина, таинственное исчезновение материи и энергии не доказывало существование духов. Он утверждал, что оно означает возникновение *новой диалектики*, охватывающей и материю, и энергию. Их уже нельзя рассматривать обособленно по примеру Ньютона. Их следует воспринимать как два полюса диалектического единства. Необходим новый принцип сохранения. (Ленин не знал, что Эйнштейн предложил уточненный закон тремя годами ранее, в 1905 г.) Более того, Ленин высказывал сомнения насчет четвертого измерения, существование которого так легко принял Мах. Сначала Ленин хвалил Маха за постановку «очень важного и полезного вопроса о пространстве с *n*-измерениями как мыслимом пространстве», а потом подверг Маха критике за то, что тот не подчеркнул: только три измерения пространства подтверждаются экспериментально. Математики пусть исследуют и четвертое измерение, и мир, в котором оно возможно, — это даже полезно, писал Ленин, но свергнуть царя можно лишь в пространстве с тремя измерениями!⁸

Сражаясь на арене четвертого измерения и новой теории радиации, Ленин потратил годы, чтобы искоренить отзовизм в большевистской партии, и наконец одержал победу незадолго до начала Октябрьской революции 1917 г.

Двоеженцы и четвертое измерение

В конце концов идея четвертого измерения пересекла Атлантический океан и попала в Америку. Ее вестником стала колоритная фигура — английский математик Чарльз Хауард Хинтон. Если Альберт Эйнштейн в 1905 г. корпел за письменным столом в швейцарском патентном бюро и в то же время открывал законы относительности, то Хинтон трудился в патентном бюро США в Вашингтоне, округ Колумбия. Эти двое никогда не встречались, но несколько раз их пути могли бы пересечься при довольно примечательных обстоятельствах.

Все взрослые годы своей жизни Хинтон был одержим стремлением популяризировать четвертое измерение и визуализировать его. Он хотел войти в историю науки как человек, который «видел» четвертое измерение.

Хинтон был сыном Джеймса Хинтона — известного британского отоларинголога, придерживающегося либеральных убеждений. С годами харизматичный Хинтон-старший превратился в религиозного философа, отстаивающего свободную любовь и открытую полигамию, и наконец возглавил одну влиятельную английскую секту. Его окружали беззаветно преданные ему свободомыслящие последователи. Одно из самых известных высказываний Хинтона-старшего — «Христос был Спасителем для мужчин, а я — спаситель женщин и ни капли ему не завидую!»⁹

Но его сын Чарльз, казалось, был обречен вести респектабельную и скучную жизнь математика. Его увлекало не многоженство, а многоугольники! Закончив учебу в Оксфорде в 1877 г., Чарльз стал почтенным учителем в школе Аппингема и продолжал работать над диссертацией на степень магистра математики. Еще в Оксфорде он предпринимал попытки представить себе четвертое измерение. Будучи математиком, он понимал, что представить себе четырехмерный объект во всей его целостности невозможно. Зато возможно, рассудил он, вообразить поперечное сечение или развертку четырехмерного объекта.

Свои мысли Хинтон излагал в статьях и публиковал в популярной прессе. Его авторитетная статья «Что такое четвертое измерение?» для *Dublin University Magazine* и *Cheltenham Ladies' College Magazine* была в 1884 г. переиздана с броским подзаголовком «Призракам дано объяснение».

Однако жизнь Хинтона, до той поры небогатая событиями, вдруг совершила резкий поворот к худшему: в 1885 г. его арестовали за двоеженство и отдали под суд. До того Хинтон женился на Мэри Эверест-Буль, дочери одного из приятелей его отца и вдове великого математика Джорджа Буля, основателя булевой алгебры. Вместе с тем Хинтон был отцом близнецов, родившихся у некой Мод Уэлдон.

Директор аппингемской школы, встречая Хинтона в обществе жены Мэри и любовницы Мод, полагал, что Мод — сестра Хинтона. Для Хинтона все складывалось прекрасно — до тех пор, пока он не совершил ошибку и не женился и на Мод. Как только руководство школы узнало о двоеженстве Хинтона, вспыхнул скандал. Хинтона сразу же уволили из аппингемской школы и отдали под суд. Три дня он провел в тюрьме, но Мэри Хинтон отказалась поддержать обвинение и вскоре вместе с мужем уехала из Англии в США.

Хинтон получил место ассистента на кафедре математики Принстонского университета, где его одержимость четвертым измерением временно потеснило увлечение изобретательством: в частности, конструирование тренажера для бейсбола. Бейсбольной команде Принстона изобретение Хинтона принесло немалую пользу, так как эта машина могла подавать бейсбольные мячи со скоростью 70 миль в час (около 112 км/ч). Автоматы, сконструированные по образу машины Хинтона, теперь можно увидеть на всех крупных бейсбольных стадионах мира.

Когда же Хинтона уволили и из Принстона, его бывший начальник, ревностный сторонник теории четвертого измерения, сумел подыскать ему должность в Военно-морской обсерватории США. Затем, в 1902 г., Хинтон перешел на работу в Вашингтонское патентное бюро.

Кубы Хинтона

В течение нескольких лет Хинтон разрабатывал оригинальные методы, с помощью которых не только профессиональные математики, но и любой среднестатистический человек из числа растущих рядов его последователей мог бы «увидеть» четырехмерные объекты. Наконец Хинтон усовершенствовал специальные кубы, которые при условии приложения достаточных стараний помогали визуализировать гиперкубы, или кубы в четырех измерениях. Они получили название «кубы Хинтона». Хинтон даже ввел в обращение официальное название развертки гиперкуба — тессеракт, которое прижилось в английском языке.

Кубы Хинтона широко рекламировались в женских журналах и даже применялись на спиритических сеансах, где вскоре приобрели мистическое значение. Представители высшего общества утверждали: медитируя на кубах Хинтона, можно уловить проблески четвертого измерения, а значит, и потустороннего мира духов и умерших близких. Его ученики часами изучали эти кубы, медитировали на них, пока не приобретали умение мысленно переставлять и разбирать эти кубы посредством четвертого измерения, получая гиперкуб. Высказывалось утверждение, будто бы тот, кто справляется с этой умственной задачей, способен достичь высшего состояния — нирваны.

В качестве аналогии рассмотрим трехмерный куб. Хотя флатландец не в состоянии вообразить себе этот куб целиком, мы можем представить развертку куба в трех измерениях, в итоге получим шесть квадратов, образующих крест. Разумеется, флатландец не может снова собрать из этих квадратов куб. В мире двух измерений квадраты жестко соединены между собой и лишены подвижности. А в третьем измерении стыки подвижны. Флатландец, наблюдающий это явление, увидит, как квадраты исчезают, пока в его вселенной не останется лишь один из них (рис. 3.6).

Точно так же нельзя представить себе гиперкуб в четырех измерениях. Но можно сделать развертку гиперкуба, разло-

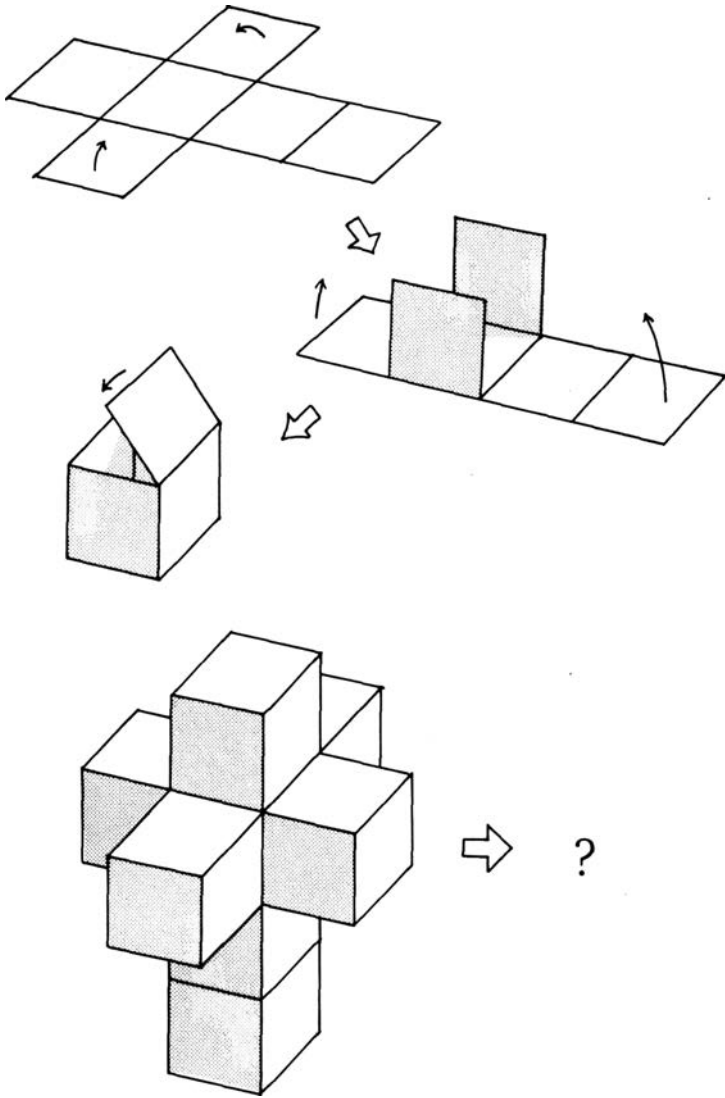


Рис. 3.6. Флатландцы не могут увидеть куб, но могут представить трехмерный куб по его развертке. С точки зрения флатландца, развернутый куб напоминает крест из шести квадратов. Мы тоже не можем увидеть четырехмерный гиперкуб, но его развертка представляет собой ряд кубов, расположенных крестообразным тессерактом. Хотя кубы тессеракта выглядят лишены подвижности, житель четырехмерного пространства способен вновь «сложить» из кубов гиперкуб

жить его на элементы — обычные для трехмерного пространства кубы. Эти кубы, в свою очередь, можно расположить трехмерным крестом — тессерактом. Мы не в силах представить себе, как сложить из этих кубов гиперкуб. А гость из высшего измерения перенесет каждый куб из нашего мира в свой и соберет из них гиперкуб. (Наблюдая за этим удивительным событием своими трехмерными глазами, мы увидим только, что другие кубы исчезают, а в нашем мире остается лишь один куб.) Влияние Хинтона распространилось настолько широко, что Сальвадор Дали воспользовался тессерактом в знаменитой картине «Распятие, или Гиперкубическое тело» из коллекции Метрополитен-музея в Нью-Йорке. Эта картина изображает Христа, распятого на четырехмерном кресте (рис. 3.7).

Хинтон знал и второй способ визуализации многомерных объектов: с помощью теней, которые они отбрасывают в нижних измерениях. К примеру, флатландец может представить себе куб, посмотрев на его двумерную тень. Куб выглядит как два квадрата, соединенных вместе. Так и гиперкуб отбрасывает в третьем измерении тень, превращаясь в куб внутри куба (рис. 3.8).

Помимо визуализации разверток гиперкубов и рассматривания их теней, Хинтон знал третий способ, помогающий представить четвертое измерение: способ поперечных сечений. К примеру, когда мистера Квадрата переносят в третье измерение, его глаза видят только двумерные поперечные сечения объемных предметов. Так, он видит, как круги появляются, увеличиваются в размерах, меняют цвет, а затем вдруг исчезают. Двигаясь мимо яблока, мистер Квадрат увидел бы, как красный круг возник словно из воздуха, постепенно увеличился, потом начал сжиматься, превратился в маленький коричневый кружочек (хвостик яблока) и наконец исчез. Хинтон понимал, что мы, попав в четвертое измерение, тоже могли увидеть, как странные предметы вдруг появляются откуда ни возьмись, увеличиваются, меняют цвет и форму, уменьшаются и наконец исчезают.

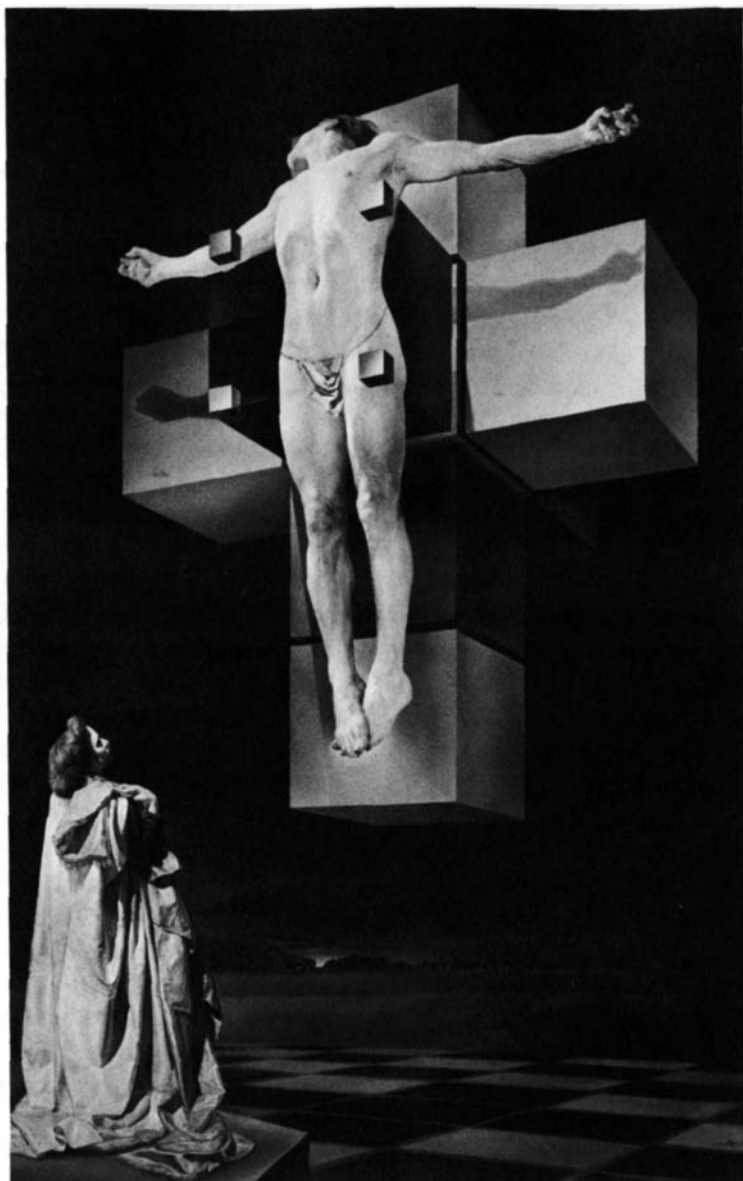


Рис. 3.7. На картине «Распятие, или Гиперкубическое тело» Сальвадор Дали изобразил Христа распятым на тессеракте — развернутом гиперкубе (Метрополитен-музей, дар Честера Дейла, собрание музея, 1995 г.) (1993. Ars, New York/Demart Pro Arte, Geneva)

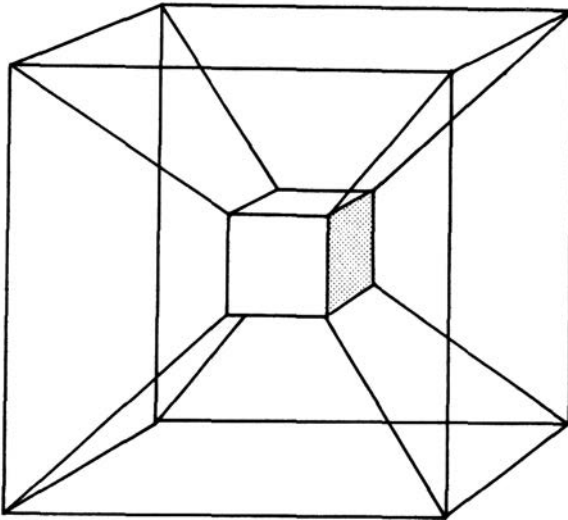
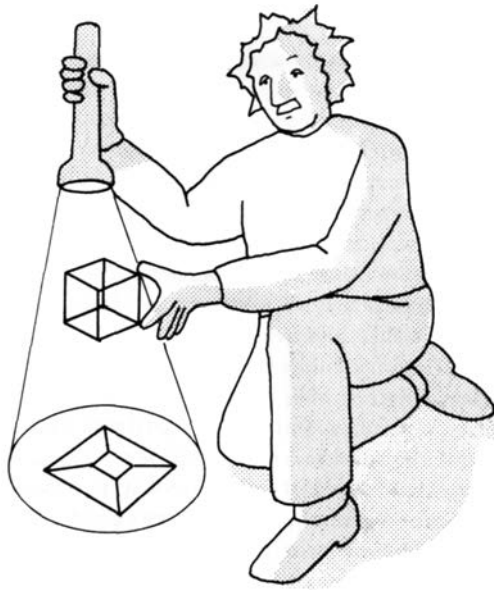


Рис. 3.8. Флатландец может визуализировать куб, изучая тень, которую он отбрасывает: эта тень выглядит как квадрат в квадрате. Если куб вращается, эти квадраты совершают движения, невозможные с точки зрения флатландца. Так и тень гиперкуба — куб внутри куба. Если гиперкуб вращается в четырехмерном пространстве, эти кубы совершают движения, немислимые для нашего трехмерного мозга

Итак, вкладом Хинтона можно признать популяризацию многомерных фигур с применением трех методов: изучения их теней, их поперечных сечений и их разверток. Даже сегодня к этим трем методам профессиональные математики и физики обращаются в первую очередь, когда им требуется представить многомерные объекты. Ученые, чьи схемы появляются в нынешних научных журналах, многим обязаны трудам Хинтона.

Конкурс по четвертому измерению

В своих статьях Хинтон давал ответы на всевозможные вопросы. Когда его спрашивали, как называть четвертое измерение, он отвечал, что слова «ана» и «ката» описывают движения в четвертом измерении и являются аналогами терминов «вверх» и «вниз» или «влево» и «вправо». И даже на вопрос о том, где находится четвертое измерение, у него был готов ответ.

Представим себе перемещение сигаретного дыма в замкнутом пространстве. Поскольку атомы дыма, согласно законам термодинамики, распространяются и диффундируют во все стороны, можно определить, есть ли в обычном трехмерном пространстве места, где отсутствуют молекулы дыма. Но эксперименты и наблюдения показали, что таких скрытых мест нет. Следовательно, четвертое пространственное измерение возможно, только если оно меньше частиц дыма. Таким образом, если четвертое измерение существует на самом деле, оно должно быть невероятно малым, даже меньше атома. Хинтон придерживался принципа, согласно которому все объекты нашей трехмерной Вселенной существуют в четвертом измерении, но это четвертое измерение настолько мало, что не поддается экспериментальным исследованиям. (Мы убедимся, что и современные физики придерживаются тех же принципов, что и Хинтон, и придем к выводу, что высшие измерения слишком малы, чтобы увидеть их в экспериментальных

условиях. На вопрос, что такое свет, ответ у Хинтона тоже был наготове. Вслед за Риманом Хинтон считал, что свет — это колебания незримого четвертого измерения, т. е. разделял взгляды многих современных физиков-теоретиков.)

В США Хинтон в одиночку сумел воспламенить живой интерес общественности к четвертому измерению. Этому усиливающемуся интересу посвящали целые страницы такие популярные журналы, как *Harper's Weekly*, *McClure's*, *Current Literature*, *Popular Science Monthly* и *Science*. Но скорее всего, успех в Америке Хинтону обеспечил знаменитый конкурс, спонсором которого в 1909 г. выступил журнал *Scientific American*. В этом необычном конкурсе приз в размере \$500 (существенная сумма для 1909 г.) был обещан за «лучшее популярное объяснение четвертого измерения». Редакцию журнала приятно изумил шквал писем, буквально захлестнувших ее, в том числе посланий издалека — из Турции и Австрии, Индии и Голландии, Австралии, Франции и Германии.

Участникам конкурса было предложено «написать очерк не более чем на 2500 слов, в котором объяснялось бы значение термина так, чтобы его мог понять читатель-неспециалист». На конкурс было прислано множество обстоятельных работ. Авторы некоторых сетовали на то, что Цёлльнер, Слейд и прочие запятнали репутацию четвертого измерения, поскольку оно стало ассоциироваться со спиритуализмом. Однако во многих очерках Хинтону отдавали пальму первенства в исследованиях четвертого измерения. (Как ни странно, ни один участник не упомянул о трудах Эйнштейна. В 1909 г. разгадка Эйнштейном тайны пространства и времени все еще внушала сомнения. Мало того, идея времени как четвертого измерения не фигурировала ни в одной конкурсной работе.)

Разумеется, в отсутствие экспериментального подтверждения конкурс журнала *Scientific American* не мог разрешить проблему существования высших измерений. Однако конкурс позволил подступить к вопросу о том, как могли бы выглядеть многомерные объекты.

Чудовища из четвертого измерения

Каково было бы встретиться с существом из высшего измерения?

Вероятно, лучший способ объяснить, какое удивление и восторг вызвал бы гипотетический визит в другие измерения, — обратиться к научной фантастике, авторы которой пытались прояснить этот вопрос.

В рассказе «Монстр из ниоткуда» писатель Нельсон Бонд пытался описать, что произойдет, если исследователь в джунглях Латинской Америки столкнется с чудовищем из другого измерения.

Нашему герою Берчу Паттерсону, авантюристу, жизнелюбу и солдату удачи, пришлось в голову ловить диких зверей в высокогорных районах Перу. Экспедицию оплатят зоопарки, расходы будут возмещены благодаря животным, которых разыщет Паттерсон. Пресса создает ажиотаж вокруг экспедиции, особенно когда та оказывается на неизведанной территории. Но спустя всего несколько недель связь экспедиции с внешним миром прерывается и сама экспедиция исчезает бесследно. После долгих и бесплодных поисков власти нехотя объявляют участников экспедиции погибшими.

А через два года вдруг объявляется Берч Паттерсон. Тайно встретившись с журналистами, он рассказывает им поразительную историю, в которой сплелись героизм и трагедия. Незадолго до исчезновения экспедиция столкнулась на перуанском плато Маратан с фантастическим существом, невиданным монстром, похожим на пузырь, постоянно меняющий форму самым причудливым образом. Такие черные пузыри зависали в воздухе, исчезали и вновь возникали, менялись их формы и размеры. Неожиданно пузыри напали на экспедицию и перебили почти всех ее участников. Уцелевших людей пузыри подхватывали с земли, и те исчезали в воздухе с дикими воплями.

Этой участи избежал только Берч. Ошеломленный и перепуганный, он тем не менее принялся наблюдать за пузырями издалека. Постепенно у него появились предположения о том,

кто это такие и как их поймать. За несколько лет до экспедиции он прочитал «Флатландию» и отчетливо представил себе, как напугал бы ее двумерных обитателей тот, кому вздумалось бы совать в их плоский мир пальцы и снова отдергивать их. Флатландцы увидели бы пульсирующие кольца плоти, зависающие в воздухе (наши пальцы, протыкающие Флатландию) и постепенно меняющие размер. Паттерсон рассудил, что любое существо из высшего измерения, просунувшее руку или ногу в нашу Вселенную, будет выглядеть как трехмерные, пульсирующие пузыри из плоти, возникающие неизвестно откуда и постоянно меняющие форму и размер. Этим объясняется внезапное исчезновение участников экспедиции в воздухе: существа утащили их в многомерную вселенную.

Еще один вопрос не давал покоя Паттерсону: как изловить существо из высшего измерения? Если флатландец, увидевший, как наш палец протыкает его двумерный мир, попытается поймать этот палец, у него ничего не выйдет. Если он попробует накинуть на наш палец лассо, мы просто отдернем палец, и на глазах у флатландца он исчезнет. Паттерсон рассудил, что и при попытке накинуть сеть на один из пузырей существо из многомерного пространства просто отдернет из нашей Вселенной «палец» или «ногу», стряхнув сеть.

Внезапно к нему пришло решение: чтобы удержать наш палец, проткнувший Флатландию, флатландец мог бы *пронзить этот палец* иглой и таким болезненным способом пригвоздить его к двумерной Вселенной. Так у Паттерсона появилась стратегия: вогнать в один из пузырей костыль и пригвоздить им неизвестное существо к нашему миру!

После долгих месяцев наблюдения за неизвестными существами Паттерсон идентифицировал одно из них как «ногу» существа и проткнул ее насквозь костылем. Ему понадобилось два года, чтобы поймать и привезти упирающийся, корчащийся пузырь в Нью-Джерси.

Наконец Паттерсон объявил, что собирает большую пресс-конференцию, на которой покажет фантастическое существо, пойманное в Перу. Журналисты и ученые ахнули в ужасе, когда

им предстало странное существо, пытающееся сорваться с большого стального костыля. Как в сцене из «Кинг-Конга», кто-то из газетных репортеров, несмотря на запрет, принялся фотографировать существо, пользуясь вспышкой. Вспышка привела существо в ярость, оно рванулось так, что плоть, в которую был воткнут костыль, не выдержала. Внезапно монстр оказался на свободе, и начался кошмар. Людей разрывало в клочья, потом существо схватило нескольких человек, в том числе и Паттерсона, и скрылось в четвертом измерении.

После этой трагедии один из чудом уцелевших очевидцев решил на всякий случай сжечь все свидетельства существования монстра. Пусть эта тайна навсегда останется неразгаданной.

Строительство четырехмерного дома

В предыдущей главе рассматривался вопрос о том, что происходит, когда мы в своем мире сталкиваемся с существами из высших измерений. А если предположить обратное, т. е. ситуацию, в которой мы попадаем в многомерную вселенную? Как мы уже видели, флатландец не может представить себе трехмерную вселенную во всей ее целостности. Но как доказал Хинтон, есть несколько способов, помогающих флатландцу осмысливать видимые проявления многомерных вселенных.

В своем классическом рассказе «Дом, который построил Тил» Роберт Хайнлайн рассматривает многочисленные возможности, с которыми связана жизнь в развертке гиперкуба.

Квинтус Тил — дерзкий, яркий архитектор, вознамерившийся построить дом поистине революционной формы: тессеракт, т. е. гиперкуб, в трех измерениях представляющий собой развертку. Тил уговаривает своих друзей, супругов Бейли, купить этот дом.

Построенный в Лос-Анджелесе тессеракт представляет собой восемь ультрасовременных кубов, поставленных один на другой и образующих подобие креста. Увы, в момент, когда Тил уже

готов показать свое творение супругам Бейли, на юг Калифорнии обрушивается землетрясение, и дом разваливается. Кубы начинают опрокидываться, в итоге, как ни странно, от дома остается лишь один куб. Остальные таинственным образом исчезают. Когда Тил и Бейли опасно входят в дом, превратившийся в единственный куб, то с изумлением обнаруживают, что недостающие комнаты отчетливо видны в окна первого этажа. Но этого же просто не может быть. Дом стал одним-единственным кубом. Как может интерьер единственного куба быть связанным с рядом других кубов, если снаружи они не видны?

Поднявшись по лестнице, они нашли над входом хозяйскую спальню. Но когда они попытались подняться на следующий этаж, то вновь очутились на первом. Решив, что в доме колдуют духи, супруги Бейли поспешили к входной двери. Но дверь вывела их не из дома, а в соседнюю комнату. Миссис Бейли лишилась чувств.

Обследовав дом, они убедились в том, что двери каждой комнаты ведут в те помещения, которых за этими дверями не должно быть. Первоначально в каждом кубе имелись окна, из которых открывался вид наружу. А теперь во все окна виднелись другие комнаты. Но никакого наружного пространства за ними не было!

Перепуганные до смерти, они осторожно стали пытаться открывать все двери дома по очереди, но оказывались в других комнатах. Наконец в кабинете они решили поднять жалюзи и выглянуть наружу. Когда подняли первые жалюзи, то обнаружили, что смотрят вниз на Эмпайр-Стейт-билдинг. По-видимому, это окно соединялось с пространственным «окном» над самым шпилем башни. За вторыми жалюзи обнаружился бескрайний океан, но только на месте неба. А за третьими жалюзи они увидели перед собой «ничто». Не пустоту, не крошечную тьму. Просто ничто. Последние жалюзи скрывали унылый пустынный ландшафт, возможно, марсианский.

После этой невероятной экскурсии по дому, в котором каждая комната немислимым образом соединялась с остальными, Тил наконец понял, что произошло. Он рассудил, что во время

землетрясения стыки между кубами потеряли прочность, и дом сложился, перейдя в четвертое измерение¹⁰.

Снаружи дом, который построил Тил, поначалу выглядел как обыкновенная конструкция из кубов. Он не разрушился потому, что стыки между кубами были прочными и надежными в трех измерениях. Но, если взглянуть на дом Тила из четвертого измерения, он представлял собой развертку гиперкуба, из которой можно вновь собрать гиперкуб. Когда землетрясение встряхнуло дом, каким-то образом он свернулся в четырех измерениях, оставив в трехмерном мире единственный куб. Войдя в него, можно было видеть ряд комнат, связанных одна с другой совершенно невероятным образом. Пробегая по комнатам дома, Тил переходил в четвертое измерение и даже не замечал этого.

Казалось бы, наши герои обречены до конца своих дней бесцельно блуждать внутри гиперкуба. Но тут тессеракт встряхнуло еще одно сильное землетрясение. Затаив дыхание, перепуганный Тил и супруги Бейли выскочили в ближайшее окно. И очутились в Национальном парке Джошуа-Три, на расстоянии нескольких миль от Лос-Анджелеса. Спустя несколько часов, поймав попутную машину до города, они вернулись туда, где стоял дом, и обнаружили, что и последний уцелевший куб исчез. Куда же девался тессеракт? Вероятно, завис где-нибудь в четвертом измерении.

Бесполезное четвертое измерение

Оглядываясь назад, можно сделать вывод, что знаменитый доклад Римана был популяризован стараниями мистиков, философов и людей искусства и стал доступным широкой аудитории, но почти никак не углубил наше понимание природы. Рассматривая этот процесс с точки зрения современной физики, мы также понимаем, почему в 1860–1905 гг. не произошло никаких фундаментальных прорывов в наших представлениях о гиперпространстве.

Во-первых, не предпринималось попыток использовать гиперпространство с целью упрощения законов природы. Без изначального руководящего принципа Римана, согласно которому в высших измерениях законы природы упрощаются, ученые в этот период двигались наугад впотьмах. основополагающая идея Римана об использовании геометрии, а именно складчатого гиперпространства, для объяснения сущности «силы» в те годы оказалась забытой.

Во-вторых, никто не пытался воспользоваться фарадеевой концепцией поля или метрическим тензором Римана, чтобы вывести уравнения поля, подчиняющиеся гиперпространству. Математический аппарат, разработанный Риманом, стал сферой приложения чистой математики, вопреки изначальным намерениям самого Римана. Без теории поля гиперпространство становится непредсказуемым.

Таким образом, на рубеже веков циники не без оснований утверждали, что существование четвертого измерения не подтверждается экспериментально. Хуже того, добавляли они, нет никаких причин обращаться к четвертому измерению, кроме как для того, чтобы пощекотать широкую публику историями о призраках. Однако эта досадная ситуация вскоре изменилась. Уже через несколько десятилетий теория четвертого измерения (времени) навсегда изменила ход истории человечества. Благодаря ей у нас появились и атомная бомба, и сама теория сотворения мира. Человеком, благодаря которому все это стало возможным, был никому не известный физик Альберт Эйнштейн.

Тайна света: колебания в пятом измерении

Если она [относительность], как я предвижу, будет подтверждена, его следует считать Коперником XX в.

Макс Планк об Альберте Эйнштейне

История жизни Альберта Эйнштейна выглядит как длинная череда неудач и разочарований. Его мать расстраивалась, что он долго не мог научиться говорить. Учителя в начальных классах считали Эйнштейна глуповатым ротозеем. Они жаловались на то, что Альберт постоянно нарушает дисциплину в классе, задавая дурацкие вопросы. Один учитель даже напрямик заявил мальчику, что предпочел бы вообще не видеть его в своем классе.

В школе у Эйнштейна почти не было друзей. Потеряв интерес к учебе, он был исключен из старших классов. Поскольку аттестата об окончании школы он не получил, ему пришлось сдавать специальные экзамены для поступления в колледж. Однако при первой попытке Эйнштейн завалил экзамены и был вынужден сдавать их повторно. Его не взяли даже в швейцарскую армию — помешало плоскостопие.

После завершения учебы Эйнштейн долго не мог найти работу. Ему, безработному физику, не предложили пост преподавателя в университете, ему не досталась ни одна из вакантных должностей, на которые он претендовал. Занимаясь репетиторством, он зарабатывал жалкие гроши — меньше пяти франков в час. Своему другу Морису Соловину он говорил,

что «проще зарабатывать на жизнь, играя на скрипке в общественных местах».

Эйнштейна не прельщали деньги и власть — словом, все то, к чему стремится большинство людей. Но однажды он пессимистически заметил: «Каждый человек обречен участвовать в этой гонке уже потому, что у него есть желудок». В конце концов по протекции друга Эйнштейн стал малооплачиваемым клерком в швейцарском патентном бюро в Берне, зарабатывая ровно столько, чтобы не обращаться за помощью к родителям. На свое жалование он содержал молодую жену и новорожденного ребенка.

Не располагая ни финансовыми ресурсами, ни связями в официальных научных кругах, Эйнштейн приступил к работе в одиночку, не бросая службу в патентном бюро. Оформляя патенты, мыслями он уносился к вопросам, которые занимали его с юности. А потом он взял на себя задачу, которая в конечном итоге изменила ход истории человечества. Орудием Эйнштейна стало четвертое измерение.

Детские вопросы

В чем сущность гениальности Эйнштейна? В книге «Восхождение человека» (The Ascent of Man), положенной в основу одноименного телесериала, Якоб Броновски писал: «Гениальность таких людей, как Ньютон и Эйнштейн, заключается в следующем: они задают очевидные, невинные вопросы, ответы на которые оказываются катастрофическими. Эйнштейн умел формулировать подобные вопросы предельно просто»¹. Еще в детстве Эйнштейн задался одним из таких примитивных вопросов: как выглядел бы луч света, если бы удалось поймать его? Увидели бы мы неподвижную волну, застывшую во времени? Этот вопрос положил начало 50-летнему путешествию по миру тайн пространства и времени.

Представим себе попытки обогнать поезд на гоночной машине. Мы жмем на педаль газа, машина мчится вровень

с поездом, «ноздря в ноздрю». Теперь заглянем внутрь поезда, где все выглядит так, словно он находится в состоянии покоя. Мы увидим сиденья и людей, которые ведут себя так, словно поезд не движется. Подобным образом Эйнштейн в детстве воображал путешествие по лучу света. Он считал, что этот луч должен напоминать ряд неподвижных волн, застывших во времени, т. е. луч должен выглядеть неподвижным.

Когда Эйнштейну было 16 лет, он заметил в своих рассуждениях изъян. Позднее он вспоминал:

...После десяти лет размышлений над парадоксом, на который я обратил внимание еще в шестнадцать, я пришел к мысли: если гнаться за лучом света со скоростью c (скоростью света в вакууме), то можно видеть этот луч света как пространственное колебательное электромагнитное поле в состоянии покоя. Однако подобное явление не подтверждается ни опытом, ни уравнениями Максвелла².

Во время учебы в Политехникуме Эйнштейн утвердился в своих подозрениях. Он узнал, что свет можно описать посредством электрических и магнитных полей Фарадея и что эти поля подчиняются законам поля, сформулированным Джеймсом Клерком Максвеллом. Как и догадывался Эйнштейн, выяснилось, что существование стационарных застывших волн не допускается максвелловыми уравнениями поля. По сути дела, Эйнштейн доказал, что луч света перемещается с *одной и той же* скоростью c , как бы старательно мы ни пытались догнать его.

Поначалу это предположение выглядело абсурдно. Оно означало, что нам никогда не обогнать этот поезд (луч света). Хуже того, как бы мы ни гнали свой автомобиль, поезд всегда будет опережать нас, двигаясь при этом с *одной и той же* скоростью. Иными словами, луч света подобен «кораблю-призраку» из тех, о которых рассказывают бесконечные легенды старые моряки. Поймать это призрачное судно невозможно. Как бы стремительно мы ни плыли, корабль-призрак неизменно ускользает, поддразнивая и маня нас.

В 1905 г., продолжая работать в патентном бюро и располагая временем, Эйнштейн тщательно проанализировал Maxwellовы уравнения поля и на основании этого анализа сформулировал один из принципов *специальной теории относительности*: скорость света одинакова во всех системах отсчета, движущихся с постоянной скоростью. Этот на первый взгляд ничем не примечательный постулат — одно из величайших достижений человеческой мысли. Его ставят наравне с законом всемирного тяготения Ньютона как одно из величайших научных творений человеческого разума за те два миллиона лет, на протяжении которых наш вид эволюционирует на Земле. Из этого постулата логически выводится разгадка тайны колоссальных выбросов энергии звездами и галактиками.

Для того чтобы понять, как такое простое утверждение может привести к столь масштабным выводам, вернемся к нашему примеру, в котором автомобиль пытается обогнать поезд. Предположим, некий пешеход на боковой дорожке засекает время и определяет, что автомобиль движется со скоростью 99 миль в час (около 160 км/ч), а поезд — со скоростью 100 миль в час (около 161 км/ч). Естественно, находясь в автомобиле, мы видим, что поезд обгоняет нас каждый час на 1 милю (1,6 км). Это происходит потому, что скорости могут складываться и вычитаться как обычные числа.

Теперь заменим поезд лучом света, но примем скорость света равной тем же 100 милям в час. Пешеход все так же определит, что наш автомобиль движется со скоростью 99 миль в час, упорно преследуя световой луч, распространяющийся со скоростью 100 миль в час. По представлениям пешехода, мы почти нагоняем световой луч. Но согласно теории относительности мы, сидя в машине, видим, что луч света опережает нас не со скоростью 1 миля в час, как следовало ожидать, а мчится впереди со скоростью, опережающей нашу на 100 миль в час. Поразиительно, но мы видим луч света, обгоняющий нас, так, словно сами находимся в состоянии покоя. Не веря своим глазам, мы вдавливаем педаль газа в пол до тех пор, пока пешеход не замечает, что наш автомобиль несется со скоростью 99,99999 миль

в час. Мы, конечно, убеждены, что уж теперь-то наверняка обогнали луч света. Но выглянув в окно, мы видим, что луч света все так же опережает нас со скоростью 100 миль в час.

В замешательстве мы приходим к нескольким странным и тревожным выводам. Во-первых, как бы мы ни нажимали на педаль газа, по утверждению пешехода, мы можем лишь приблизиться к скорости 100 миль в час, но не превзойти ее. По-видимому, эта скорость предельная для автомобиля. Во-вторых, как бы мы ни приблизились к этим 100 милям в час, мы все равно видим, что луч света опережает нас со скоростью 100 миль в час, как будто мы вообще не движемся.

Но это же абсурд! Как могут люди в мчащемся автомобиле и неподвижно стоящий человек получить одинаковые результаты, измеряя скорость луча света? Так не бывает. По-видимому, это некая удивительная шутка природы.

Есть лишь один способ выпутаться из этого парадокса. При этом мы неизбежно придем к поразительному выводу, который поначалу потряс Эйнштейна до глубины души. Единственная разгадка этой головоломки заключается в том, что для нас, находящихся в автомобиле, *время замедляется*. Если пешеход возьмет телескоп и направит его на нашу машину, то заметит, что все внутри нее движутся чрезвычайно медленно. Но мы, находясь в машине, не замечаем, что время замедлилось, потому что наш мозг приспособился к этому замедлению, следовательно, происходящее представляется нам совершенно обычным. Более того, пешеход заметит, что наш автомобиль сплюснулся в направлении движения и сложился гармошкой. Но мы не чувствуем этого эффекта, ведь наши тела тоже сжались.

Пространство и время играют с нами шутку. В ходе экспериментов ученые доказали, что скорость света всегда равна c , как бы стремительно мы ни передвигались. Это происходит по следующей причине: чем быстрее мы перемещаемся, тем медленнее тикают наши часы и тем короче становятся наши линейки. В сущности, наши часы замедляют бег, а наши линейки сжимаются ровно настолько, чтобы при любом измерении скорости света она оказывалась одинаковой.

Но почему мы не видим этого эффекта и не чувствуем его? Когда с приближением к скорости света наш мозг работает медленнее, а тело становится тоньше, мы, к счастью, не осознаем, что превращаемся в лепешки-тугодумы.

Разумеется, эти релятивистские эффекты слишком незначительны, чтобы замечать их в повседневной жизни, — причина в том, что скорость света слишком велика. Но мне, жителю Нью-Йорка, об удивительных искажениях пространства и времени напоминает каждая поездка в метро. Когда я стою на платформе, где заняться решительно нечем, кроме как ждать следующего поезда, я порой даю волю воображению и гадаю, что было бы, если бы скорость света составляла, допустим, всего 30 миль в час (около 48 км/ч), т. е. равнялась бы скорости движения поезда подземки. Тогда поезд, въезжающий на станцию, выглядел бы сжатой гармошкой. Мне представляется, что этот поезд превратился бы в сплюснутый металлический брус высотой 1 фут (30 см), несущийся по рельсам. Внутри вагонов такого поезда все пассажиры были бы тонкими, как бумага. Кроме того, они в буквальном смысле слова застыли бы во времени, как неподвижные изваяния. Но поезд, остановившись со скрежетом, вдруг начал бы растягиваться, пока не заполнил бы всю станцию.

Какими бы нелепыми ни казались со стороны эти искажения, пассажиры в вагонах поезда не заметили бы никаких перемен. Их тела и само пространство сжались бы в направлении движения поезда; все вокруг имело бы привычный вид. Более того, работа мозга замедлилась бы, поэтому все в поезде действовали бы как обычно. А когда поезд остановился бы у платформы, пассажиры так и не узнали бы, что кому-то, стоящему на этой платформе, предстало удивительное увеличение и растяжение поезда, пока он не занял всю платформу. Пассажиры вышли бы из этого поезда, совершенно не подозревая о глубоких изменениях, которых потребовала специальная теория относительности*.

* Пассажирам поезда показалось бы, что поезд стоит, а станция метро приближается к нему. Они увидели бы, что платформа и все стоящие на ней сложены гармошкой. Таким образом, мы приходим к противоречию: пассажиры в поезде и люди на станции считают друг друга подвергнувшимися сжатию. Разрешение этого парадокса представляется несколько каверзным³. — *Прим. авт.*

Четвертое измерение и встречи выпускников

Разумеется, теория Эйнштейна уже не раз была представлена в популярных изложениях, авторы которых делали акценты на разных аспектах теории. Но лишь некоторые из них уловили сущность специальной теории относительности: время — это четвертое измерение, а законы природы в высших измерениях упрощаются и унифицируются. Введение времени в качестве четвертого измерения опрокинуло концепцию времени, восходящую к эпохе Аристотеля. Специальная теория относительности навсегда образовала между пространством и временем диалектическую взаимосвязь. (Цёлльнер и Хинтон полагали, что следующее открытое измерение будет четвертым пространственным. В этом они ошиблись, а Герберт Уэллс оказался прав. Следующим открытым измерением стало время — четвертое временное измерение. Прогресс в представлениях о четвертом пространственном измерении был достигнут лишь через несколько десятилетий.)

Для того чтобы понять, каким образом в высших измерениях упрощаются законы природы, вспомним, что каждый предмет имеет длину, ширину и высоту. Поскольку у нас есть возможность повернуть этот предмет на 90° , мы можем превратить его длину в ширину, а ширину — в высоту. Путем простого поворота мы можем менять местами три пространственных измерения. Далее, если время — четвертое измерение, значит, возможны и «повороты», превращающие пространство во время, и наоборот. Эти четырехмерные «повороты» — именно те искажения пространства и времени, которых требует специальная теория относительности. Иначе говоря, пространство и время неразрывно связаны и подчиняются теории относительности. Значение времени как четвертого измерения в том, что время и пространство можно поворачивать друг относительно друга математически точным образом. Отныне их следует рассматривать как два аспекта одного и того же целого — пространства-времени, или пространственно-временного континуума. Таким

образом, добавление нового измерения помогло объединить законы природы.

Ньютон 300 лет назад считал, что повсюду во Вселенной время движется с одинаковой скоростью. Где бы мы ни были — на Земле, на Марсе или на далекой звезде, — часы повсюду идут одинаково. Предполагалось, что для всей Вселенной характерен абсолютно единообразный ход времени. «Повороты» времени и пространства казались немислимими. Время и пространство — две совершенно разные величины, между которыми нет никакой связи. Никому и в голову не приходило объединять их в одно целое. Но согласно специальной теории относительности темп времени может быть разным, в зависимости от того, насколько быстро оно движется. Время — четвертое измерение, и это означает, что оно неразрывно связано с движением в пространстве. Скорость, с которой часы отсчитывают минуты, зависит от того, насколько быстро они движутся в пространстве. Сложные эксперименты с атомными часами, отправленными на околоземную орбиту, подтвердили, что часы на Земле и часы в космосе идут с разной скоростью.

Наглядное напоминание об этом принципе относительности я увидел, когда меня пригласили на встречу выпускников по случаю двадцатилетия окончания школы. С большинством одноклассников после завершения учебы я не виделся, но полагал, что внешность любого из них отмечена одними и теми же красноречивыми признаками старения. Как и ожидалось, на вечере встречи большинство присутствующих с облегчением обнаружили, что процесс старения неизбежен: у всех начинали седеть виски, увеличилась окружность талии, появились морщины. Хотя нас разделяло пространство и время, а именно — расстояние до нескольких тысяч миль и 20 лет, все мы считали, что время движется для всех нас с одинаковой скоростью. И само собой, мы полагали, что стареем в одном и том же темпе.

А потом я задумался и представил себе, что было бы, если бы кто-нибудь из моих одноклассников явился на вечер встречи, сохранив *точно такой же* облик, как в день выпуск-

ного бала. Сначала он оказался бы под прицелом внимательных взглядов бывших одноклассников: на самом ли деле это тот человек, которого мы знали 20 лет назад? А когда одноклассники убедились бы, что это действительно он, зал охватила бы паника.

Эта встреча стала бы для нас потрясением: мы ведь по умолчанию полагали, что часы повсюду идут с одинаковой скоростью, даже если их разделяет огромное расстояние. Но, если время — действительно четвертое измерение, тогда пространство и время можно «повернуть» друг относительно друга и часы могут идти с разной скоростью в зависимости от того, насколько быстро они движутся. К примеру, наш одноклассник мог побывать на космическом корабле, скорость которого близка к скорости света. Для нас этот полет продолжался 20 лет. А для нашего одноклассника, время которого замедлилось в несущейся ракете, после выпускного бала прошло лишь несколько минут, на которые он и постарел. С его точки зрения, он только вошел в ракету, несколько минут провел в космосе, а потом вернулся на Землю — как раз вовремя, чтобы после короткого и приятного путешествия успеть на вечер встречи выпускников и выглядеть там юным и свежим на фоне обладателей седин.

Кроме того, к упрощению законов природы благодаря четвертому измерению я возвращаюсь всякий раз, когда вспоминаю свое первое знакомство с уравнениями Максвелла. Каждый студент, изучающий теорию электромагнетизма, несколько лет осваивает эти восемь абстрактных уравнений, на редкость безобразных и туманных. Эти восемь уравнений топорны и громоздки, они трудно поддаются запоминанию, потому что время и пространство в них рассматриваются по отдельности. (Мне до сих пор приходится заглядывать в справочники, убеждаясь, что я правильно записал все входящие в эти уравнения переменные и символы.) Как сейчас помню, какое облегчение я испытал, узнав, что эти уравнения преобразуются в одно и довольно простое, когда время рассматривается как четвертое измерение. Одним мастерским ударом

четвертое измерение упростило эти уравнения прекрасным и очевидным способом⁴. Записанным таким образом уравнениям присуща высшая *симметрия*, т. е. пространство и время могут переходить одно в другое. Подобно прекрасной снежинке, которая выглядит одинаково, как бы мы ни вращали ее вокруг оси, уравнения Максвелла, записанные в релятивистской форме, остаются одними и теми же, когда мы методом «поворота» превращаем пространство во время.

Примечательно то, что одно простое уравнение, записанное в релятивистской форме, вмещает то же физическое содержание, что и восемь уравнений, первоначально записанных Максвеллом более 100 лет назад. В свою очередь, это единственное уравнение обуславливает свойства динамо-машин, радаров, радио, телевизоров, лазеров, бытовой техники и несметного множества потребительской электроники, какую можно увидеть в любой гостиной. Этот случай впервые открыл мне *красоту* в физике — показал, что симметричность четырехмерного пространства способна объяснить целое море физических знаний, которых хватило бы на техническую библиотеку.

Это еще раз подтверждает один из главных моментов данной книги: введение высших измерений помогает упростить и объединить законы природы.

Материя как конденсированная энергия

Ранее обсуждение вопросов объединения законов природы носило скорее абстрактный характер и осталось бы таким, если бы Эйнштейн не предпринял очередной решающий шаг. Он понял, что если пространство и время можно объединить в одну категорию, называемую пространство-время, то, вероятно, между ними есть и диалектическая связь. Если линейки сжимаются, а часы замедляют ход, рассудил он, тогда должно меняться и все то, что мы количественно оцениваем с помощью линеек и часов. Но в физической лаборатории с помощью линеек и часов измеряют почти все. Значит, физикам необ-

ходимо заново оценить все лабораторные величины, которые когда-то они считали постоянными.

К примеру, энергия — величина, которая зависит от того, как именно мы измеряем расстояния и временные промежутки. Экспериментальный автомобиль, на большой скорости врезающийся в кирпичную стену, явно обладает энергией. Но, если его скорость близка к скорости света, его свойства меняются. Автомобиль складывается гармошкой, часы в нем идут медленнее.

Более того, Эйнштейн обнаружил, что при увеличении скорости растет и масса автомобиля. Но откуда берется эта избыточная масса? Эйнштейн пришел к выводу, что из энергии.

Здесь напрашивались тревожные выводы. В число великих открытий в области физики XIX в. входил закон сохранения массы и энергии — иначе говоря, закон, согласно которому суммарная масса и суммарная энергия замкнутой обособленной системы остаются неизменными. Например, если автомобиль на большой скорости врежется в кирпичную стену, энергия автомобиля не исчезает, а преобразуется в звуковую энергию столкновения, кинетическую энергию разлетающихся осколков кирпича, тепловую энергию и т. д. Суммарная энергия (как и суммарная масса) до и после аварии остаются неизменными.

А теперь Эйнштейн утверждал, что энергия автомобиля может быть преобразована в массу — новый принцип сохранения, согласно которому суммарная величина массы и энергии, вместе взятых, всегда должна оставаться одинаковой. Материя не исчезает внезапно, энергия не берется ниоткуда. В этом отношении «богостроители» заблуждались, а Ленин был прав. Материя исчезает только с выбросом огромного количества энергии, и наоборот.

В возрасте 26 лет Эйнштейн точно подсчитал, как должно меняться количество энергии, если принцип относительно-сти верен, и вывел соотношение $E = mc^2$. Поскольку квадрат скорости света (c^2) — астрономически большое число, небольшого количества материи достаточно для выброса огромного

количества энергии. Мельчайшие частицы вещества — настоящие кладовые энергии, ее запасы более чем в миллион раз превосходят количество энергии, выделяющейся при химическом взрыве. В каком-то смысле материю можно считать почти не иссякающим источником энергии; иначе говоря, материя — конденсированная энергия.

В этом отношении мы видим принципиальное отличие трудов математика (Чарльза Хинтона) от трудов физика (Альберта Эйнштейна). Хинтон почти все свои взрослые годы пытался представить высшие *пространственные* измерения. Он не проявлял интереса к поискам физической интерпретации для четвертого измерения. Эйнштейн же видел, что четвертое измерение можно воспринимать как *временное*. Он руководствовался убеждением и чутьем физика, подсказывающими, что у высших измерений есть предназначение: служить для объединения законов природы. Добавив к списку привычных измерений высшее, он мог объединить физические концепции, не связанные в трехмерном мире, например материю и энергию.

Впредь материю и энергию следовало воспринимать как одно целое: материю-энергию. Непосредственным следствием работ Эйнштейна, посвященных четвертому измерению, стало создание водородной бомбы — самого мощного детища науки XX в.

«Самая удачная мысль в моей жизни»

Но удовлетворенности Эйнштейн не испытал. Одной его специальной теории относительности хватило бы, чтобы обеспечить ему место среди титанов физики. Однако этой теории чего-то недоставало.

Удачной находкой для Эйнштейна стало применение четвертого измерения для объединения законов природы путем введения двух новых понятий: пространства-времени и материи-энергии. Эйнштейн приоткрыл завесу, за которой скры-

вались самые сокровенные тайны природы, но понимал, что в его теории остается еще немало пробелов. Как связаны между собой две новые концепции? А именно: как быть с ускорением, которым пренебрегает специальная теория относительности? А с силой тяжести?

Друг Эйнштейна Макс Планк, основоположник квантовой физики, объяснил молодому Эйнштейну, что вопрос силы тяжести слишком сложен. Планк сказал, что Эйнштейн излишне амбициозен: «На правах давнего друга вообще не советую тебе браться за него, так как ты вряд ли достигнешь цели, а если и достигнешь, никто тебе не поверит»⁵. Но Эйнштейн погрузился в размышления о тайнах гравитации. И опять ключом к историческому открытию стало умение задавать вопросы так, как это делают дети.

Иногда в лифте дети боязливо спрашивают: «А если веревка оборвется?» Правильный ответ: «Тогда ты станешь невесомым и будешь парить внутри кабины лифта, как в космосе, потому что и лифт, и пассажиры в нем падают с одинаковой скоростью. Несмотря на то что ты, как и кабина лифта, будешь двигаться с ускорением в поле тяготения Земли, это ускорение окажется одинаковым для вас обоих, следовательно, в кабине ты будешь невесомым, по крайней мере пока не достигнешь дна шахты».

В 1907 г. Эйнштейн осознал, что человеку, парящему в кабине лифта, может прийти в голову мысль, что кто-то таинственным образом отключил притяжение Земли. Однажды Эйнштейн вспоминал: «Я сидел в патентном бюро в Берне и вдруг подумал: “Если человек находится в состоянии свободного падения, он не чувствует собственного веса”. Я изумился. Эта простая мысль произвела на меня глубокое впечатление. И подтолкнула к разработке теории гравитации»⁶. Эйнштейн называл эту мысль «самой удачной в своей жизни».

Поменяв ситуацию на прямо противоположную, он сообразил: человек, который находится в ракете, движущейся с ускорением, почувствует, как что-то вдавливает его в сиденье, словно на него воздействуют силы тяготения. (В сущности,

сила ускорения, действие которой ощущают на себе космонавты, измеряется в g , т. е. кратна силе земного притяжения.) Эйнштейн пришел к выводу, что человек, движущийся с ускорением в ракете, может подумать, что действующие на него силы вызваны гравитацией.

Из детского вопроса Эйнштейн сделал вывод, касающийся фундаментальной природы гравитации: *законы природы в системе отсчета, движущейся с ускорением, эквивалентны законам в гравитационном поле.* Это простое утверждение, получившее название *принципа эквивалентности*, мало что значит для среднестатистического человека, но в руках Эйнштейна оно стало фундаментом теории космоса.

(Принцип эквивалентности также дает простые ответы на сложные вопросы физики. К примеру, если мы едем в автомобиле и держим воздушный шарик, наполненный гелием, а автомобиль вдруг поворачивает налево, наши тела отбросит вправо. Но куда в этом случае переместится шарик? Здравый смысл подсказывает, что вправо, как и наши тела. Но поиски точного ответа на этот каверзный вопрос ставили в тупик даже опытных физиков. Решение — применить принцип эквивалентности. Представим гравитационное поле, действующее на автомобиль справа. Гравитация заставит нас наклониться вправо, а воздушный шар с гелием, который легче воздуха и всегда стремится вверх — в сторону, противоположную силе притяжения, должен переместиться влево, в направлении поворота машины вопреки здравому смыслу.)

Эйнштейн воспользовался принципом эквивалентности, чтобы разрешить давнюю задачу о том, действует ли гравитация на луч света. В обычных условиях этот вопрос относится к весьма непростым. Но благодаря принципу эквивалентности ответ очевиден. Если включить фонарик внутри ракеты, движущейся с ускорением, луч должен преломиться вниз, к полу (поскольку ракета ускорилась под лучом света за то время, которое понадобилось лучу, чтобы распространиться по помещению). Следовательно, утверждал Эйнштейн, в гравитационном поле траектория движения света приобретет кривизну.

Эйнштейн знал, что согласно фундаментальному принципу физики луч света выберет путь, движение по которому между двумя точками займет наименьшее время (этот принцип называется принципом наименьшего времени Ферма). Как правило, путь между двумя точками, требующий наименьших затрат времени, — прямая линия, поэтому луч света прямой. (Даже когда свет отклоняется при прохождении сквозь стекло, он все равно подчиняется принципу наименьшего времени. Это происходит потому, что при прохождении сквозь стекло свет замедляет движение, и траектория, позволяющая с наименьшими затратами времени совершить путь сквозь воздух и стекло, теперь представляет собой кривую линию. Само явление называется рефракцией или преломлением, на нем строится работа микроскопов и телескопов.)*

Но, если свет выбирает путь так, чтобы преодолеть расстояние между двумя точками за наименьшее время, а лучи света отклоняются от прямой под влиянием гравитации, тогда кратчайшим расстоянием между двумя точками является кривая линия. Этот вывод потряс Эйнштейна: если можно наблюдать, как свет движется по кривой, значит, *само пространство искривлено*.

Деформации пространства

В основе убеждения Эйнштейна лежала идея, согласно которой силу можно объяснить при помощи геометрии в чистом виде. Например, представим себе катание на карусели. Всем известно: вздумав пересечь на другую карусельную лошадку

* Например, представьте, что вы спасатель на пляже. Вы находитесь на некотором расстоянии от воды и краем глаза замечаете, что кто-то тонет в океане на периферии вашего поля зрения. Предположим, что по мягкому песку вы способны передвигаться очень медленно, зато плаваете быстро. Если проделать часть пути до утопающего по прямой, проложенной по песку, это займет слишком много времени. Наименьшее время займет путь, проделанный по ломаной линии, построенной с таким расчетом, чтобы сократить время пробега по песку и преодолеть большую часть расстояния вплавать. — *Прим. авт.*

и проходя по вращающейся платформе, мы чувствуем воздействие некой силы. Так как наружный край карусели движется быстрее центра, то согласно специальной теории относительности этот наружный край должен сжиматься. Но если наружный край карусели, или ее окружность, сожмется, то платформа в целом должна приобрести кривизну. Для того, кто находится на платформе, свет перемещается уже не по прямой, поскольку сила тянет его к краю платформы. Обычные теоремы геометрии в этом случае неприменимы. Таким образом, воздействие силы, которое мы ощущаем, перебегая на карусели от одной лошадки к другой, можно объяснить искривлением самого пространства.

Эйнштейн независимо от Римана осуществил его первоначальный замысел — дать понятию силы чисто геометрическое объяснение. Как мы помним, Риман приводил в качестве аналогии флатландцев, живущих на смятом листе бумаги. Для нас очевидно, что флатландцы, передвигающиеся по мятой поверхности, не в состоянии двигаться по прямой. Куда бы они ни направились, они будут подвергаться воздействию силы слева и справа. По мнению Римана, видимость силы создается искривлением, или деформацией пространства. Таким образом, на самом деле сил не существует, просто деформируется само пространство.

Недостаток подхода, которого придерживался Риман, заключался в том, что он понятия не имел, каким образом гравитация, электричество и магнетизм вызывают искажение пространства. Его подход был сугубо математическим, к нему не прилагалась конкретная физическая картина, объясняющая, как именно осуществлялось деформирование пространства. Эйнштейн преуспел в том, в чем Риман потерпел фиаско.

Представим, к примеру, камень, положенный на расправленное покрывало. Очевидно, камень слегка продавит его, оставит в покрывале небольшое углубление. Тогда стеклянный шарик, брошенный на покрывало, покатится по круговой или эллиптической траектории вокруг камня. Наблюда-

тель, который издали увидит, как шарик движется по орбите камня, может сказать, что траектория движения шарика изменилась под воздействием некой «кратковременной силы», исходящей от камня. Но при ближайшем рассмотрении легко заметить, что происходит на самом деле: камень деформировал поверхность покрывала, в итоге изменилась траектория движения шарика.

По аналогии, если планеты движутся по окоლოსолнечным орбитам, то это происходит потому, что они находятся в пространстве, искривленном присутствием Солнца. Таким образом, мы стоим на поверхности Земли, а не улетаем в космический вакуум по той причине, что Земля постоянно деформирует пространство вокруг нас (рис. 4.1).

Эйнштейн заметил, что присутствие Солнца искажает траекторию движения света далеких звезд. Следовательно, простоя физическая картина давала возможность проверить теорию экспериментальным путем. Во-первых, определялось положение звезд ночью, в отсутствие Солнца. Затем, во время солнечного затмения, положение звезд определялось при наличии Солнца (но в том случае, когда оно не затмевало звезды). По мнению Эйнштейна, видимое относительное расположение звезд должно меняться в присутствии Солнца, так как поле его притяжения меняет траекторию движения света звезд на его пути к Земле. Теорию предполагалось проверить, сравнивая фотографии звезд, сделанные ночью, с фотографиями звезд во время затмения.

Эту картину можно обобщить с помощью так называемого принципа Маха, которым Эйнштейн руководствовался, разрабатывая общую теорию относительности. Как мы помним, деформация покрывала произошла из-за камня. Принимая во внимание эту аналогию, Эйнштейн сделал вывод: присутствие материи-энергии определяет кривизну пространства-времени вокруг нее. Такова суть физического принципа, который не сумел открыть Риман: деформация пространства напрямую связана с количеством энергии и материи, содержащимся в этом пространстве.

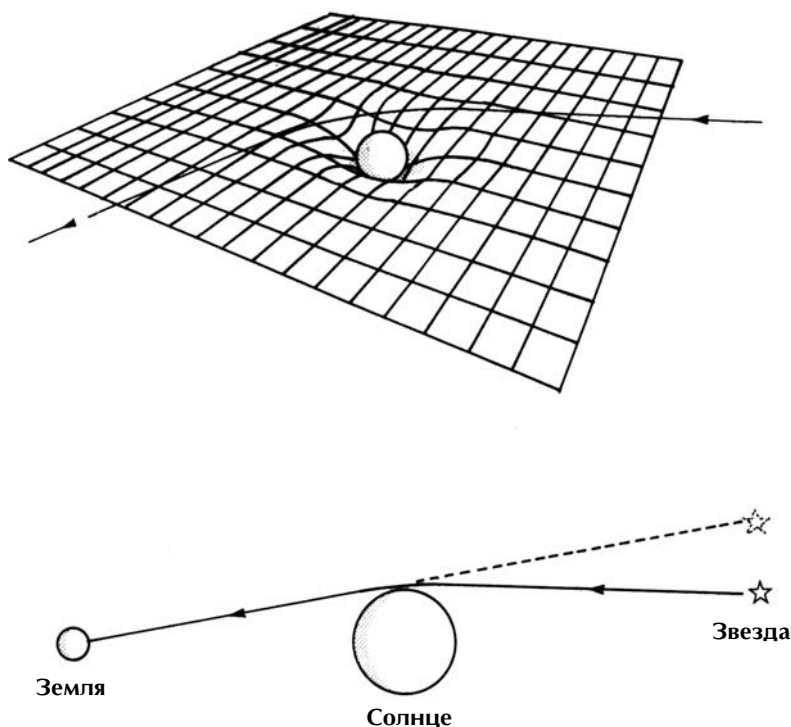


Рис. 4.1. С точки зрения Эйнштейна, «гравитация» представляет собой иллюзию, вызванную деформацией пространства. Он предсказывал, что свет звезд, проходящий вблизи Солнца, будет отклоняться от прямой, следовательно, относительное расположение звезд должно выглядеть искаженным в присутствии Солнца. Это предположение было неоднократно подтверждено экспериментами

В свою очередь, это можно обобщенно записать в виде известной формулы Эйнштейна, которая гласит:

Материя-энергия → кривизна пространства-времени,

где стрелка означает «определяет». Это обманчиво короткое выражение — один из величайших триумфов человеческого разума. Из него следуют законы движения звезд и галактик, черные дыры, Большой взрыв и, вероятно, судьба самой Вселенной.

Тем не менее в головоломке Эйнштейна все еще не доставало одного фрагмента. Он открыл верный физический принцип, но не хватало набора точных математических формул, способных выразить этот принцип. Не было аналога полей Фарадея применительно к гравитации. По иронии судьбы Риман располагал математическим аппаратом, но не направляющим физическим принципом. Эйнштейн же открыл физический принцип, но не имел математического аппарата.

Теория гравитационного поля

Эйнштейну, который сформулировал свой физический принцип, не зная о трудах Римана, не доставало математического языка и способностей, необходимых для выражения этого принципа. Три долгих, обескураживающих года (1912–1915) он провел в лихорадочных поисках математических формул, способных описать принцип. В порыве отчаяния Эйнштейн взмолился в письме своему близкому другу, математику Марселю Гроссману: «Гроссман, помоги или я свихнусь!»⁸

К счастью, Гроссман, роясь в библиотеке в поисках подсказок для решения задачи, поставленной Эйнштейном, случайно наткнулся на труды Римана. Благодаря Гроссману Эйнштейн узнал о метрическом тензоре Римана, которым физики пренебрегали на протяжении 60 лет. Позднее Эйнштейн вспоминал, что Гроссман «обратился к литературе и вскоре обнаружил, что эта математическая задача уже решена Риманом, Риччи и Леви-Чивитой... Риман справился с ней успешнее всех».

Эйнштейн был потрясен, увидев в знаменитом докладе, представленном Риманом в 1854 г., ключ к решению задачи. Оказалось, работу Римана можно целиком включить в новую формулировку принципа. Великий труд Римана, повторенный почти дословно, обрел законное место в изложении принципа Эйнштейна. Этой работой Эйнштейн особенно гордился, даже больше, чем знаменитой формулой $E = mc^2$. Физическая интерпретация доклада, прочитанного Риманом в 1854 г.,

теперь называется *общей теорией относительности*, а уравнения поля, записанные Эйнштейном, причислены к наиболее основополагающим идеям в истории науки.

Значительным вкладом Римана, как мы помним, было введение понятия метрического тензора — поля, определенного во всех точках пространства. Метрический тензор — не одно число. В каждой точке пространства он включает совокупность из десяти чисел. В планы Эйнштейна входила разработка теории гравитационного поля по примеру Максвелла. Предмет его поисков, поле, которое описывало бы гравитацию, удалось обнаружить буквально на первой странице доклада Римана. По сути дела, метрический тензор Римана представлял собой именно фарадеево поле применительно к гравитации!

Уравнения Эйнштейна, записанные с применением риманова метрического тензора, приобрели совершенство, какого в физике прежде не наблюдалось. Лауреат Нобелевской премии Субраманьян Чандрасекар однажды назвал их «прекраснейшей из всех существующих теорий». (В сущности, теория Эйнштейна настолько проста и вместе с тем так убедительна, что физиков порой озадачивает ее успешность. Физик из Массачусетского технологического института Виктор Вайскопф однажды сказал: «Все это напоминает историю о том, как крестьянин расспрашивал инженера об устройстве паровой машины. Инженер объяснил, куда поступает пар, какую он совершает работу, как действует двигатель и т. д. И услышал от крестьянина следующий вопрос: “Да это все понятно, а вот куда запрягать лошадь?” Вот такие чувства и вызывает у меня общая теория относительности. Я знаю все подробности, понимаю, куда поступает пар, но до сих пор не представляю, куда запрягать лошадь»⁹.)

Глядя в прошлое, теперь мы видим, как близко подступил Риман к открытию теории гравитации, едва не опередив Эйнштейна на 60 лет. Весь математический аппарат теории существовал уже в 1854 г. Уравнения Римана достаточно точно описывали самые сложные искривления пространства-времени в любом измерении. Но ему не хватало физической картины

(того, что материя-энергия определяет кривизну пространства-времени) и проницательности, которой обладал Эйнштейн.

Жизнь в искривленном пространстве

Однажды в Бостоне я побывал на хоккейном матче. Все взгляды, конечно, были прикованы к хоккеистам, скользящим по льду. Игроки так стремительно перепасовывали друг другу шайбу, что это напомнило мне обмен атомов электронами при образовании химических элементов или молекул. Я отметил, что каток, само собой, не принимал участия в игре. Он лишь задавал рамки, оставался пассивной ареной, на которой хоккеисты отвоевывали друг о друга очки.

Потом я представил, что было бы, если бы сам каток активно включился в игру. Что, если бы хоккеистам пришлось играть на изогнутой поверхности, изобилующей пологими холмами и глубокими впадинами?

Игра сразу же стала бы гораздо интереснее. Игрокам пришлось бы передвигаться по искривленной поверхности. Из-за кривизны катка исказились бы их движения, кривизна действовала бы подобно силе, притягивающей игроков друг к другу. Шайба двигалась бы по замысловатым траекториям, как змея, создавая дополнительные трудности в игре.

Потом я зашел еще дальше в игре своего воображения: представил себе, что хоккеисты находятся на катке, имеющем форму цилиндра. Развивая достаточную скорость, игроки могли бы кататься вверх-вниз, двигаться в любых направлениях по поверхности цилиндра. Это привело бы к появлению новых стратегий в игре: например, когда противника поджидают в засаде, чтобы потом, скатившись сверху вниз по поверхности цилиндра, застигнуть соперника врасплох. Если бы каток стал изогнутым, принял форму круга, пространство оказалось бы решающим фактором, обуславливающим движение материи по его поверхности.

Еще один, имеющий более непосредственное отношение к нашей Вселенной пример — жизнь в изогнутом пространстве, образованном гиперсферой, т. е. четырехмерной сферой¹⁰. Когда смотришь вперед в такой гиперсфере, свет полностью огибает ее небольшой периметр и возвращается к твоим глазам. И ты видишь, что кто-то стоит перед тобой, спиной к тебе, точно в такой же одежде, что и ты. Неодобрительно посмотрев на растрепанную шевелюру незнакомца, ты вдруг вспомнишь, что в тот день забыл причесаться.

Возможно, этот человек — просто изображение, созданное зеркалами? Чтобы выяснить это, протягиваешь руку и берешь его за плечо. И убеждаешься, что перед тобой не отражение, а человек. А если посмотреть вдаль, можно увидеть бесконечное множество совершенно одинаковых людей: их лица обращены вперед, у каждого на плече лежит ладонь человека, стоящего позади.

Однако самое поразительное — это ощущение, что чья-то рука лежит на твоём плече. Встревожившись, ты оборачиваешься и видишь за собой еще одну бесконечную цепочку одинаковых людей с повернутыми головами.

Что же происходит на самом деле? Разумеется, в этой гиперсфере настоящий человек только один — ты сам. Человек, стоящий перед тобой, — опять-таки ты. Ты смотришь себе в затылок. Протягивая руку к плечу стоящего впереди, ты на самом деле огибаешь рукой гиперсферу и кладешь ладонь на собственное плечо.

Эти парадоксальные фокусы, возможные в гиперпространстве, представляют интерес для физики, так как многие специалисты по космологии считают, что наша Вселенная в действительности представляет собой огромную гиперсферу. Есть сторонники и других, не менее странных топологий: например, «гиперпончиков» или лент Мебиуса. Практического применения все эти предположения не имеют, но помогают проиллюстрировать многие особенности жизни в гиперпространстве.

Допустим, что мы живем в гиперпончике. Посмотрев влево и вправо, к своему изумлению, мы увидим с каждой стороны

человека. Свет полностью огибает большой периметр пончика и возвращается в начальную точку. Таким образом, если повернуть голову и посмотреть влево, увидишь чей-то правый бок. Повернув голову в другую сторону, увидишь чужой левый бок. Сколько ни старайся поворачивать голову как можно быстрее, стоящие по бокам и впереди люди вертят головами так же стремительно, поэтому разглядеть их лица невозможно.

А теперь вытянем руки в стороны. Стоящие справа и слева люди тоже вытянут руки. Поскольку они стоят довольно близко, можно схватить за левую и правую руку тех, кто находится по обе стороны от тебя. Если внимательно посмотреть в обе стороны, можно разглядеть бесконечно длинную и прямую цепочку людей, держащихся за руки. Если посмотреть вперед — увидим множество таких же бесконечных цепочек людей, держащихся за руки.

Что же происходит на самом деле? На деле наши руки настолько длинны, что они огибают гиперпончик и соприкасаются. Таким образом, мы держимся за собственные руки (рис. 4.2).

Эти загадки уже начинают утомлять. Люди вокруг словно дразнят тебя, повторяют каждое твое движение. Взбесившись, выхватываешь револьвер и целишься в человека, стоящего перед тобой. Но, уже приготовившись выстрелить, вдруг задаешься вопросом: действительно ли этот человек — фальшивое зеркальное отображение? Если да, тогда пуля пройдет сквозь него. Если нет, тогда пуля обогнет эту вселенную и попадет тебе же в спину. Да, пожалуй, стрелять из револьвера в этом мире не стоит!

Для того чтобы вообразить себе еще более причудливую вселенную, можно представить, как живется на ленте Мебиуса — длинной полоске бумаге, один конец которой повернут на 180° , а затем склеен с другим концом. Пройдя весь путь по ленте Мебиуса, флатландец-правша обнаружит, что стал левшой. Во время прогулок по такой Вселенной левая и правая стороны меняются местами, как в «Рассказе Платнера» Герберта Уэллса, герой которого возвращается на Землю после стран-

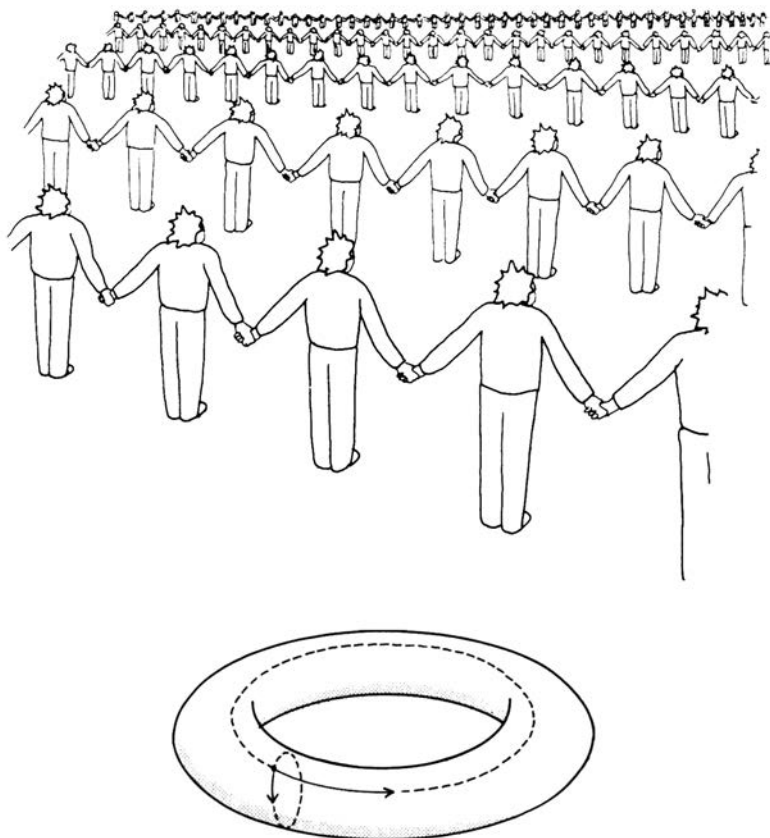


Рис. 4.2. Если бы мы жили в гиперпончике, то каждый увидел бы бесконечную последовательность самого себя перед собой, за собой и с обеих сторон от себя. Это происходит по той причине, что в пределах пончика свет может распространяться двумя способами. Протягивая руки людям, стоящим по обе стороны, на самом деле берешь за руки самого себя: чужие руки — на самом деле твои, обогнувшие пончик

ного инцидента и обнаруживает, что стороны его тела полностью поменялись местами — к примеру, теперь сердце находится справа.

Представим, что мы живем на ленте Мебиуса. Глядя прямо перед собой, мы видим чей-то затылок. И не сразу пони-

маем, что он собственный, ведь пробор в волосах находится не с той стороны. Если протянуть руку и положить правую ладонь на плечо впереди стоящего, он вскинет левую руку и положит ее на плечо человека, стоящего перед ним. На самом деле будет видна бесконечная цепочка людей, каждый из которых держит руку на плече впереди стоящего, только эти руки будут чередоваться и лежать то на правом, то на левом плече.

Если попросишь друзей подождать тебя, не сходя с места, а сам обойдешь всю эту вселенную, то обнаружишь, что вернулся в ту же точку, с которой начал путь. Но твои друзья ужаснутся, обнаружив, что правая и левая стороны твоего тела поменялись местами. Пробор в твоих волосах и кольца на пальцах теперь будут находиться не с той стороны, поменяются местами внутренние органы. При виде таких изменений твои друзья наверняка удивятся и спросят: все ли с тобой в порядке? Да, ты-то в полном порядке, изменившись тебе покажутся твои друзья! Так и завяжется спор о том, кто на самом деле изменился до неузнаваемости.

Все эти и другие интересные возможности открываются перед теми, кто живет во Вселенной, где пространство и время искривлены. Пространство перестает быть пассивной ареной и превращается в активного участника действия, разворачивающегося во Вселенной.

Итак, мы видим, что Эйнштейн выполнил программу, начатую за 60 лет до него Риманом: он использовал высшие измерения, чтобы упростить законы природы. Но Эйнштейн пошел дальше Римана в нескольких отношениях. Как и Риман, Эйнштейн сообразил, что сила — следствие геометрии, но в отличие от Римана сумел найти стоящий за этой геометрией физический принцип, согласно которому причина искривления пространства-времени — присутствие материи-энергии. Подобно Риману, Эйнштейн знал, что гравитацию можно выразить как поле с помощью метрического тензора, а также сумел вывести точные уравнения, которым подчиняется это поле.

Вселенная, сделанная из «мрамора»

К середине 20-х гг. XX в. благодаря развитию как специальной, так и общей теории относительности Эйнштейн прочно занял место в истории науки. В 1921 г. астрономы подтвердили, что свет звезд действительно отклоняется при прохождении вблизи Солнца именно так, как и предсказывал Эйнштейн. К тому времени он уже прославился как продолжатель исследований Исаака Ньютона.

Но сам Эйнштейн не довольствовался этими результатами. Он предпринял еще одну попытку выработать масштабную теорию. Однако эта третья попытка провалилась. Третья, и последняя, теория Эйнштейна должна была увенчать достижения всей его жизни. Он искал «теорию всего», которая послужила бы объяснением всех известных взаимодействий, наблюдаемых в природе, в том числе света и гравитации, и придумал для нее название: *единая теория поля*. Увы, его поиски единой теории света и гравитации оказались тщетными. Эйнштейн умер, оставив на рабочем столе лишь неоформленные мысли в рукописном виде.

Парадокс, но источником раздражения для Эйнштейна стала структура его собственной формулы. На протяжении 30 лет его беспокоил в ней один принципиальный недостаток. С одной стороны уравнения была кривизна пространства-времени, которое он сравнивал с «мрамором» за геометрическую красоту. Эйнштейну кривизна пространства-времени представлялась олицетворением древнегреческой архитектуры, прекрасной и умиротворяющей. Но другая сторона уравнения, описывающая материю-энергию, была ненавистна Эйнштейну: он считал ее безобразной и сравнивал с «деревом». Если «мрамор» пространства-времени был чистым и ясным, то «дерево» материи-энергии воплощало беспорядочное нагромождение перепутанных, совершенно произвольных компонентов — от субатомных частиц, атомов, полимеров и кристаллов до камней, скал, деревьев, планет и звезд. Впрочем, в 1920–1930 гг., когда Эйнштейн интенсивно рабо-

тал над единой теорией поля, истинная сущность материи еще оставалась загадкой.

Главным для Эйнштейна было превратить «дерево» в «мрамор», т. е. показать геометрический первоисточник материи. Но без новых физических подсказок и более глубокого изучения «дерева» с точки зрения физики это было невозможно. В качестве аналогии представьте себе великолепное дерево с узловатыми ветвями, растущее посреди парка. Архитекторы окружили это древнее дерево прекрасной площадью, сделанной из кусков мрамора, тщательно подобрали мраморные фрагменты, чтобы его узор напоминал цветы, побеги и корни дерева. Перефразируя принцип Маха, можно сказать, что наличие дерева определяет рисунок окружающего его мрамора. Но Эйнштейну была ненавистна эта дихотомия уродливого, скрюченного дерева и мрамора с его простыми чистыми линиями. Он мечтал превратить дерево в мрамор; ему хотелось увидеть площадь исключительно мраморной, с прекрасным симметричным мраморным изваянием в центре, изображающим дерево.

Теперь, по прошествии времени, мы видим ошибку Эйнштейна. Мы помним, что в высших измерениях законы природы упрощаются и объединяются. Эйнштейн верно применил этот принцип дважды — к специальной и общей теориям относительности. Но, предпринимая третью попытку, он забыл об этом фундаментальном принципе. В то время об атомной и ядерной структуре материи было известно очень мало, следовательно, оставалось неясным, как можно применить многомерное пространство в качестве объединяющего начала.

Эйнштейн вслепую испробовал ряд чисто математических подходов. Видимо, он считал, что «материю» можно рассматривать как петли, колебания, искажения пространства-времени. На этой картине материя играла роль сконцентрированного искажения пространства. Иными словами, все, что мы видим вокруг, — от деревьев и облаков до звезд в небе, — скорее всего, иллюзия, некая разновидность складок гиперпространства. Но без достоверных дополнительных сведений или экспериментальных данных идея зашла в тупик.

Честь сделать следующий шаг по пути, способному привести нас в пятое измерение, выпала никому не известному математику.

Рождение теории Калуцы–Клейна

В апреле 1919 г. Эйнштейн получил письмо, которое на время лишило его дара речи.

Письмо прислал безвестный математик Теодор Калуца из университета в Кёнигсберге, Германия (ныне Калининград на территории бывшего Советского Союза). В короткой статье Калуца всего на нескольких страницах предложил решение одной из величайших задач века. Пары строк ему хватило, чтобы объединить теорию гравитации Эйнштейна с теорией света Максвелла путем введения *пятого* измерения (т. е. одного временного вдобавок к четырем пространственным).

По сути дела, он возродил давнее «четвертое измерение» Хинтона и Цёлльнера и ввел его в теорию Эйнштейна оригинальным образом, как пятое измерение. Как это до него делал Риман, Калуца предположил, что свет — это возмущение, вызванное колебаниями высшего измерения. Ключевое отличие работы Калуцы от трудов Римана, Хинтона и Цёлльнера заключалось в том, что Калуца предложил оригинальную теорию поля.

Короткая статья Калуцы начиналась скромно — с записи уравнений поля Эйнштейна для гравитации в пяти измерениях вместо обычных четырех. (Как мы помним, метрический тензор Римана применим к любому количеству измерений.) Затем Калуца продемонстрировал, что эти пятимерные уравнения содержат раннюю четырехмерную теорию Эйнштейна, чего и следовало ожидать, и дополнительный компонент. Эйнштейна потрясло то, что этим дополнением оказалась теория света Максвелла. Иначе говоря, неизвестный ученый предлагал разом объединить все величайшие теории поля, известные науке, — теории Эйнштейна и Максвелла, — приме-

нив их к пятому измерению. Получилась теория, созданная из сплошного «мрамора», т. е. геометрия в чистом виде.

Пытаясь превратить «дерево» в «мрамор», Калуца нашел первую важную подсказку. Как мы помним, в нашем примере с парком мраморная площадь двумерна. Калуца заметил, что мы могли бы построить «дерево» из «мрамора», перемещая куски мрамора *вверх*, в третье измерение.

С точки зрения неспециалиста, между светом и гравитацией нет ничего общего. Ведь свет — знакомая сила, представленная поразительным разнообразием цветов и форм, а гравитация — нечто незримое и более далекое. На Земле укротить природу нам помогает электромагнитная сила, а не сила гравитации; именно электромагнитная сила приводит в действие наши механизмы, освещает города, зажигает неоновые вывески, включает экраны телевизоров. В отличие от нее, гравитация действует с бóльшим размахом: это сила, которая направляет планеты и не дает разлететься Солнцу. Это космическая сила, пронизывающая Вселенную и объединяющая Солнечную систему. (Наряду с Вебером и Риманом, одним из первых ученых, приступивших к активным поискам связи между светом и гравитацией в лабораторных условиях, был сам Фарадей. Экспериментальная установка, с помощью которой Фарадей количественно оценивал связь между этими двумя силами, до сих пор хранится в Королевском институте на Пиккадилли в Лондоне. Фарадей не сумел экспериментальным путем установить связь между двумя силами, но был уверен в мощности их объединения. Он писал: «Если надежда [на объединение] окажется обоснованной, насколько велика, могуча и совершенна в своей неизменности сила, с которой я пытаюсь иметь дело, и какой обширной может оказаться новая область познания, открывшаяся разуму человека»¹¹.)

Даже в математическом отношении свет и гравитация — все равно что нефть и вода. Максвеллова теория светового поля требует четырех полей, метрическая теория гравитации Эйнштейна — десяти. Но статья Калуцы была настолько последовательной и убедительной, что Эйнштейн не смог отвергнуть ее.

Поначалу попытка увеличить количество измерений пространства и времени с четырех до пяти казалась примитивным математическим фокусом. Как мы помним, такое впечатление создавалось, потому что существование четвертого пространственного измерения не было подтверждено экспериментально. Эйнштейна поразило то, что при преобразовании теории пятимерного поля в теорию четырехмерного поля сохранились уравнения и Максвелла, и самого Эйнштейна. Иначе говоря, Калуца сумел совместить две детали головоломки, так как обе представляли собой части одного целого — пятимерного пространства.

Свет возникал как искажение геометрии многомерного пространства. Эта теория, по-видимому, осуществляла давнюю мечту Римана, в которой взаимодействия объяснялись как складки на смятом листе бумаги. В своей статье Калуца утверждал, что его теории, объединяющей две наиболее значимые теории того времени, присуще «в буквальном смысле слова непревзойденное единство формы». Более того, он уверял, что ничем не опороченную простоту и красоту его теории нельзя «свести к захватывающей игре капризного случая»¹². Эйнштейна поразила дерзость и простота этой статьи. Как и в случае с другими великими идеями, основные доводы Калуцы выглядели элегантно и сжато.

Сравнение с двумя подходящими друг к другу элементами головоломки выбрано не случайно. Вспомним, что в основе трудов Римана и Эйнштейна лежит метрический тензор, т. е. набор из десяти величин, определяющих каждую точку в пространстве. Это естественное обобщение фарадеевой концепции поля. На рис. 2.3 мы видели, как эти десять величин можно расположить на условной шахматной доске с полем 4×4 . Обозначим эти десять величин как g_{11} , g_{12} и т. д. Далее, поле Максвелла — совокупность четырех величин для каждой точки пространства. Эти четыре величины можно обозначить как A_1, A_2, A_3, A_4 .

Для того чтобы понять смысл фокуса Калуцы, начнем с римановой теории в пяти измерениях. В этом случае метрический тензор будет представлять собой подобие шахмат-

ной доски с полем 5×5 . По определению переименуем компоненты поля Калуцы, чтобы часть стала элементами исходного поля Эйнштейна, часть — элементами поля Максвелла (рис. 4.3). В этом и заключается суть фокуса Калуцы, который стал для Эйнштейна полной неожиданностью. Просто дополнив полем Максвелла поле Эйнштейна, Калуца сумел собрать из них пятимерное поле.

Отметим, что 15 компонентов пятимерного гравитационного поля Римана достаточно, чтобы вместить десять компонентов поля Эйнштейна и четыре компонента поля Максвелла! Таким образом, блестящую мысль Калуцы можно в примитивном виде записать так:

$$15 = 10 + 4 + 1$$

(оставшийся компонент — скалярная частица, не играющая роли в нашей дискуссии). При тщательном анализе полной пятимерной теории обнаруживается, что поле Максвелла прекрасно встраивается в метрический тензор Римана, как и утверждал Калуца. Таким образом, элементарное с виду уравнение является выражением одной из наиболее основополагающих идей века.

Словом, пятимерный метрический тензор содержит и поле Максвелла, и метрический тензор Эйнштейна. Эйнштейну не верилось, что такая простая идея способна дать объяснение двум наиболее фундаментальным силам природы — гравитации и свету.

Что же это — салонный фокус? Чудеса нумерологии? Или черная магия? Эйнштейн, глубоко потрясенный письмом Калуцы, поначалу не хотел отвечать на него. Над этим письмом он размышлял два года — на редкость длинный срок для решения вопроса о публикации важной статьи. Наконец, убедившись в ее потенциальной значимости, Эйнштейн представил статью для публикации в числе трудов Прусской академии наук. Статья имела внушительный заголовок — «Проблема единства физики».

$$= \left(\begin{array}{cccc|c} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & A_1 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & A_2 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & A_3 \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & A_4 \\ \hline A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & \\ \hline & & & & \text{Максвелл} \\ \hline & & & & \text{Эйнштейн} \\ \hline & & & & \text{Максвелл} \end{array} \right)$$

Рис. 4.3. Блестящей мыслью Калуцы было записать метрический тензор Римана для пяти измерений. Пятый столбец и строка относятся к электромагнитному полю Максвелла, а оставшееся поле 4×4 — прежний четырехмерный метрический тензор Эйнштейна. Одним махом Калуца объединил теорию гравитации и теорию света — просто-напросто добавил еще одно измерение

В истории физики еще никому не удавалось найти хоть какое-нибудь применение четвертому измерению. Со времен Римана было известно, что математика многомерности поразительно красива, но для физики совершенно бесполезна.

И вот теперь впервые применение четвертому пространственному измерению было найдено, да еще для объединения законов физики! В каком-то смысле Калуца указывал, что четыре измерения Эйнштейна «слишком тесны», чтобы вместить и электромагнитные, и гравитационные силы.

Теперь-то мы видим, что в историческом плане работа Калуцы не была полной неожиданностью. Большинство историков науки, упоминая о трудах Калуцы, заявляют, что идея пятого измерения стала громом среди ясного неба, оказалась абсолютно неожиданной и оригинальной. Физическим исследованиям свойственна преемственность, и эти историки всполошились, обнаружив, что новая научная область для исследований открылась без каких-либо исторических прецедентов. Но их изумление, вероятно, вызвано тем, что они не знакомы с ненаучными трудами мистиков, литераторов, авангардистов. Пристальное рассмотрение культурно-исторических условий указывает на то, что не стоит считать появление труда Калуцы полной неожиданностью. Как мы уже убедились, благодаря Хинтону, Цёлльнеру и другим вероятность существования высших измерений была, по-видимому, наиболее популярной квазинаучной идеей, витающей в мире искусства. Если рассматривать ее в более широком культурном контексте, серьезное отношение кого-нибудь из физиков к общеизвестной идее Хинтона, согласно которой свет — колебания четвертого измерения, было лишь вопросом времени. В некотором смысле работа Римана оплодотворила мир искусств и литературы с помощью Хинтона и Цёлльнера, а затем, вероятно, произошло обратное опыление мира науки посредством труда Калуцы. (В поддержку этой гипотезы: недавно Фройнд обнаружил, что Калуца предложил пятимерную теорию гравитации не первым. Гуннар Нордстрём, соперник Эйнштейна, опубликовал первую работу, посвященную пятимерной теории поля, однако она была слишком примитивной, чтобы содержать теории Эйнштейна и Максвелла. Тот факт, что и Калуца, и Нордстрём независимо друг от друга обратились к пятому

измерению, указывает, что идеи, витающие в мире популярной культуры, повлияли на их мышление¹³.)

Пятое измерение

Для каждого физика первая встреча с пятым измерением становится чем-то вроде удара. Питер Фройнд хорошо помнит тот момент, когда он познакомился с пятым и другими высшими измерениями. Это событие произвело на него глубокое и неизгладимое впечатление.

Оно произошло в 1953 г. в Румынии, где родился Фройнд. Смерть Иосифа Сталина снизила напряженность в обществе. В тот год Фройнд, одаренный ученик колледжа, присутствовал на лекции румынского математика Георге Врэнчану. Фройнд отчетливо вспоминает, как Врэнчану отвечал на важный вопрос: почему свет и гравитация несовместимы друг с другом? Затем лектор упомянул давнюю теорию, содержащую и теорию света, и уравнения гравитации Эйнштейна. Ее секрет заключался в применении теории Калуцы–Клейна, сформулированной для пяти измерений.

Фройнд был потрясен: эта блестящая мысль застигла его врасплох. Он только начинал учиться, но ему хватило дерзости поставить очевидный вопрос: как теория Калуцы–Клейна объясняет другие силы? Он добавил: «Даже если объединить свет и гравитацию, из этого ничего не выйдет: остается еще сила ядерного взаимодействия». Он понимал, что к ядерной силе теория Калуцы–Клейна не применима. (И действительно, водородная бомба, зависшая дамокловым мечом над всей планетой в разгар холодной войны, появилась благодаря возможности управлять силами ядерного взаимодействия, а не электромагнетизмом и не гравитацией.)

Лектор не нашелся с ответом. В порыве молодого энтузиазма Фройнд выпалил: «А если добавить еще измерений?»

«Тогда сколько?» — парировал лектор.

Фройнд растерялся. Ему не хотелось ошибиться в меньшую сторону и уступить победу кому-то другому. Поэтому он на всякий случай назвал бесконечное количество измерений!¹⁴ (К сожалению, этому не по годам бойкому физику бесконечное множество измерений не казалось физически возможным.)

Жизнь на цилиндре

Оправившись от первого шока при столкновении с пятым измерением, большинство физиков начинают задаваться вопросами. Вообще-то теория Калуцы вызывает больше вопросов, чем дает ответов. Очевидный вопрос к автору теории звучит так: где оно, это пятое измерение? Поскольку все проведенные на Земле эксперименты убедительно доказали, что мы живем во Вселенной с тремя пространственными измерениями и одним временным, щекотливый вопрос остается открытым.

У Калуцы был заготовлен продуманный ответ. Предложенное им решение было точно таким же, как и найденное Хинтоном за много лет до того: высшее измерение, не наблюдаемое в ходе экспериментов, отличается от других измерений. По сути дела, оно сжато в круг — настолько маленький, что в нем не помещаются даже атомы. Таким образом, пятое измерение — не математический фокус, введенный с целью манипуляций электромагнетизмом и гравитацией, а физическое измерение, благодаря которому можно объединить две фундаментальные силы в одну, но при этом такое измерение слишком мало, чтобы количественно оценить его.

Каждый, кто движется в направлении пятого измерения, рано или поздно вернется в отправную точку. Это происходит потому, что топологически пятое измерение идентично кругу, а Вселенная — цилиндру.

Фройнд объясняет это так.

Представьте себе воображаемый народ, живущий в Лайнландии — стране, состоящей из прямой линии. На протяжении

всей своей истории этот народ верил, что его мир — всего лишь прямая линия. А потом кто-то из местных ученых предположил, что Лайнландия — не одномерная линия, а двумерный мир. Когда же его спросили, где находится таинственное и незримое второе измерение, он ответил, что оно сжато в шарик. Таким образом, лайнландцы в действительности живут на поверхности длинного, но очень тонкого цилиндра. Радиус этого цилиндра слишком мал, чтобы его измерить; в сущности, он настолько мал, что этот мир кажется просто линией¹⁵.

Будь радиус цилиндра больше, лайнландцы могли бы выходить за пределы своей Вселенной и перемещаться перпендикулярно линейному миру. Иначе говоря, они могли бы совершать межпространственные путешествия. Передвигаясь перпендикулярно Лайнландии, ее жители сталкивались бы с бесконечным множеством параллельных линейных миров, сосуществующих с их Вселенной. Углубляясь во второе измерение, они в конце концов вернулись бы в свой линейный мир.

Теперь представим себе флатландцев, живущих на плоскости. Какой-нибудь флатландский ученый вполне мог бы высказать неслыханное предположение о возможности путешествий в третьем измерении. В принципе, флатландец способен покинуть поверхность Флатландии. Медленно уплывая вверх, в третье измерение, он заметил бы диковинную последовательность параллельных вселенных, сосуществующих с его миром. Поскольку его глаза способны видеть только поверхности, параллельные Флатландии, он наблюдал бы разные варианты все той же Флатландии. Если бы флатландец поднялся слишком высоко над плоскостью, в конце концов он мог бы вернуться в исходную Флатландию.

А теперь представим, что в нашем трехмерном мире на самом деле есть еще одно измерение, свернутое в круг. Предположим далее, что длина этого пятого измерения — 10 футов (3 м). Перескочив в пятое измерение, мы просто вмиг исчезнем из нашей нынешней Вселенной. Как только мы

попадем в пятое измерение, то обнаружим, что нам достаточно проделать путь длиной 10 футов, чтобы вернуться в исходную точку. Но почему пятое измерение изначально свернуто в круг? В 1926 г. шведский математик Оскар Клейн внес несколько поправок в теорию, утверждая, что квантовая теория способна объяснить причины скрученности пятого измерения. Основываясь на этом предположении, он подсчитал, что размер пятого измерения должен составлять 10^{-33} см (планковская длина), т. е. что оно слишком мало для выявления его присутствия в лабораторных условиях на Земле. (Тот же довод применяется по сей день в подтверждение теории десяти измерений.)

С одной стороны, это означает, что теория согласуется с экспериментом, так как пятое измерение слишком мало для количественной оценки. С другой стороны, это значит также, что пятое измерение настолько мало, что никому и никогда не удастся создать достаточно мощную аппаратуру, чтобы проверить эту теорию. (Специалист в области квантовой физики Вольфганг Паули в свойственной ему язвительной манере так отзывался о теориях, которые ему не нравились: «Она даже на неправильную не тянет». Иначе говоря, теория настолько сырая, что невозможно определить, верна она или нет. Поскольку проверить теорию Калуцы нельзя, то и здесь можно сказать, что ее не назовешь даже неправильной.)

Смерть теории Калуцы–Клейна

Какой бы многообещающей ни казалась концепция Калуцы–Клейна благодаря перспективе обеспечить чисто геометрический фундамент для сил природы, к 30-м гг. XX в. эта теория уже была мертва. С одной стороны, физики так и не пришли к убеждению, что пятое измерение существует. Предположение Клейна о том, что пятое измерение скручено в крошечный круг, размер которого совпадает с планковской длиной, проверке не подлежало. Удалось подсчитать, сколько

энергии понадобится, чтобы выявить столь крошечное расстояние: получилась так называемая *планковская энергия*, или 10^{19} млрд эВ. Представить себе такое колоссальное количество энергии невозможно. Она в 100 миллиардов миллиардов раз превосходит энергию, содержащуюся в протоне, а также всю энергию, которую мы способны произвести в ближайшие несколько столетий.

С другой стороны, начался массовый исход физиков из этой сферы исследований — он был вызван появлением новой теории, которая стала революцией в мире науки. Приливная волна, распространившаяся от теории субатомного мира, полностью захлестнула исследования, связанные с теорией Калуцы–Клейна. Новшество называлось квантовой механикой и предвещало гибель теории Калуцы–Клейна в ближайшие 60 лет. Хуже того, квантовая механика бросила вызов стройной геометрической интерпретации сил, заменив ее отдельными порциями энергии.

Так неужели замысел Римана и Эйнштейна был в корне ошибочным?

Часть II

**Объединение
в десяти измерениях**

5

Квантовая ересь

Тот, кого не потрясла квантовая теория, просто не понял ее.

Нильс Бор

Вселенная, сделанная из «дерева»

В 1925 г. в мир, как метеор, ворвалась новая теория. Ошеломляюще быстро эта теория опровергла давние представления о материи, существовавшие со времен древних греков. Почти без труда она одолела десятки фундаментальных проблем, над которыми веками бились физики. Из чего состоит материя? Что обеспечивает ее целостность? Почему она существует в таких бесконечно разнообразных формах, как газы, металлы, горные породы, жидкости, кристаллы, керамика, стекло, вспышки молний, звезды и т. д.?

Новая теория, названная *квантовой механикой*, дала нам первые исчерпывающие формулировки, позволившие проникнуть в тайны атома. Субатомный мир, некогда бывший запретной территорией для физиков, начал раскрывать свои секреты.

Для того чтобы понять, насколько стремительно эта революция сокрушила своих противников, отметим, что еще в начале 20-х гг. XX в. некоторые ученые выражали серьезные сомнения в существовании «атомов». Того, что нельзя увидеть или оценить количественно в лабораторных условиях, не существует, заявляли они. Но к 1925–1926 гг. Эрвин Шрёдингер, Вернер Гейзенберг и другие приблизились к математическому описанию атома водорода. С ошеломляющей точностью они сумели

объяснить почти все свойства атома водорода исключительно математическими методами. К 1930 г. такие специалисты в области квантовой механики, как Поль Дирак, утверждали, что *всю химию* можно вывести из ее первых принципов. Они даже делали смелое заявление: будь у них достаточно времени для работы на счетной машине, они сумели бы предсказать химические свойства любой материи, которую можно встретить во Вселенной. Для них химия перестала быть фундаментальной наукой. Отныне она воспринималась как «прикладная физика».

Блистательный взлет квантовой механики не только сопровождался исчерпывающим объяснением необычных свойств атомного мира; она на долгие десятилетия затмила труды Эйнштейна. Одной из первых потерь квантовой революции стала выдвинутая Эйнштейном геометрическая теория Вселенной. Молодые физики начали перешептываться в коридорах Института перспективных исследований о том, что пик славы Эйнштейна позади и что квантовая революция прошла мимо него. Новое поколение ученых спешило прочесть последние статьи по квантовой механике, а не по теории относительности. Даже глава института Роберт Оппенгеймер в разговорах с близкими друзьями признавал, что работы Эйнштейна безнадежно устарели. Сам Эйнштейн начинал считать себя «пержитком прошлого».

Мечтой Эйнштейна, как мы помним, было создание «мраморной», т. е. чисто геометрической, Вселенной. У Эйнштейна вызывало отторжение сравнительное уродство материи с ее невнятной и беспорядочной путаницей форм, которую он называл «деревом». Целью Эйнштейна было раз и навсегда изгнать из своих теорий этот изъян, превратить «дерево» в «мрамор». Он рассчитывал в конечном итоге создать теорию Вселенной, опирающуюся только на «мрамор». К своему ужасу, Эйнштейн обнаружил, что квантовая теория *состоит полностью из «дерева»!* Как ни парадоксально, но он, по-видимому, допустил колоссальный просчет, а Вселенная предпочла «мрамору» «дерево».

Вспомним и то, что по аналогии с «деревом» и «мрамором» Эйнштейн хотел превратить дерево на мраморной площади в мраморную статую, создать парк, полностью состоящий из мрамора. Но в квантовой механике к этой задаче подошли с другой стороны. Очевидно, мечтой ученых было взять кувалду и разбить весь «мрамор» вдребезги. А потом, убрав «мраморные обломки», сделать полностью «деревянное» покрытие.

В сущности, квантовая теория перевернула труды Эйнштейна с ног на голову. Почти во всех отношениях она противоположна теории Эйнштейна. Общая теория относительности Эйнштейна — теория космоса, звезд и галактик, которым не дает распасться гладкая ткань пространства и времени. А квантовая теория, напротив, — теория микрокосма, где субатомные частицы удерживаются вместе благодаря подобным частицам силам, танцующим на стерильной сцене пространства-времени, которая представляется пустой, лишенной какого бы то ни было содержимого. Таким образом, эти две теории — враждующие противоположности. По сути дела, волна, поднятая квантовой революцией, более чем на полвека задушила всяческие попытки геометрического понимания сил.

На протяжении всей книги поднимается тема законов физики, которые выглядят простыми и едиными в высших измерениях. Но после 1925 г., с появлением «квантовой ереси», этой теме был брошен первый серьезный вызов. Последующие шестьдесят лет, до середины 1980-х гг., в мире физики господствовала идеология квантовых еретиков, почти похоронившая геометрические идеи Римана и Эйнштейна под лавиной неоспоримых успехов и поразительных экспериментальных побед.

Очень быстро квантовая теория предоставила нам исчерпывающую структуру для описания зримой Вселенной: материальная Вселенная состоит из атомов и элементов этих атомов. Существует около 100 разновидностей атомов, или элементов, из которых можно построить все известные формы материи, имеющиеся на Земле и даже в космосе. В свою очередь, атомы состоят из электронов, движущихся по орбитам

вокруг ядра, состоящего, в свою очередь, из нейтронов и протонов. Основные различия между прекрасной геометрической теорией Эйнштейна и квантовой теорией теперь можно свести к следующему:

1. Силы создаются при обмене отдельными порциями энергии, называемыми *квантами*.

В отличие от геометрической картины «силы» Эйнштейна в квантовой теории свет пришлось дробить на крохотные части. Эти порции света, названные *фотонами*, ведут себя во многом так же, как материальные частицы пренебрежимо малых размеров. При сближении два электрона отталкиваются не из-за кривизны пространства, а из-за обмена энергией, фотонами.

Энергия фотонов измеряется в единицах так называемой *постоянной Планка* ($\hbar \sim 10^{-27}$ эрг \times сек). Почти бесконечно малый размер постоянной Планка означает, что квантовая теория вносит мельчайшие поправки в законы Ньютона. Они называются *квантовыми поправками*, ими можно пренебречь при описании знакомого нам макроскопического мира. Вот почему нам чаще всего удается забыть о квантовой теории при описании повседневных явлений. Но когда речь заходит о микроскопическом субатомном мире, эти квантовые поправки преобладают в любом физическом процессе, обуславливая невероятные, противоречащие здравому смыслу свойства субатомных частиц.

2. Своими отличиями силы обязаны взаимодействию разных квантов.

К примеру, слабая сила возникает при взаимодействии квантов определенного вида, называемых *W-частицами* (от weak — слабый). Аналогично сильное взаимодействие, удерживающее протоны и нейтроны в ядре атома, вызвано обменом субатомными частицами, называемыми *π -мезонами*. И *W-бозоны*, и *π -мезоны* уже были обнаружены при экспериментах среди продуктов распада в ускорителе частиц,

тем самым принципиальная правильность подхода была подтверждена. И наконец, субъядерные частицы, удерживающие вместе протоны, нейтроны и даже π -мезоны, называются глюонами.

Таким образом, у нас есть новый «принцип унификации» для законов физики. Можно объединить законы электромагнетизма со слабым и сильным взаимодействием при условии существования ряда разнообразных квантов, которые служат связующим звеном между ними. Три из четырех сил (за вычетом силы тяготения), связанных таким образом квантовой теорией, дают нам объединение без геометрии, которое представляется противоречащим предмету этой книги и всему, что мы рассматривали ранее.

3. Невозможно одновременно знать и скорость, и координаты субатомной частицы.

Это принцип неопределенности Гейзенберга, на данный момент — самый противоречивый аспект теории, и в то же время на протяжении полувека он упрямо сопротивлялся любым попыткам проверить его в лабораторных условиях. Известных экспериментальных отклонений от этого правила не существует.

Принцип неопределенности означает, что мы никогда не знаем наверняка, где находится электрон или какова его скорость. Самое большее, что можно сделать, — рассчитать вероятность появления электрона с конкретной скоростью в конкретном месте. Но ситуация не столь безнадежна, как кажется, так как мы можем математически строго вычислить вероятность обнаружения этого электрона. Несмотря на то что электрон — точечная частица, ее сопровождает волна, подчиняющаяся определенному выражению — волновому уравнению Шрёдингера. Грубо говоря, чем больше волна, тем выше вероятность нахождения электрона в этой точке.

Таким образом, благодаря квантовой теории концепции частицы и волны сливаются в милую сердцу диалектику: основные физические объекты природы — частицы, но веро-

ятность нахождения частицы в любой конкретной точке пространства и времени дается волной вероятности. В свою очередь, эта волна подчиняется строго определенному математическому уравнению, выведенному Шрёдингером.

Одна беда: к этим непостижимым вероятностям квантовая теория сводит буквально все. Мы можем с большой точностью предсказать, сколько электронов пучка будут рассеяны при прохождении сквозь экран с отверстиями в нем. Но не знаем наверняка, *какие* электроны подвергнутся рассеиванию и в каком направлении. И неточность приборов тут ни при чем: согласно Гейзенбергу таков закон природы.

Разумеется, скрытый философский смысл этой формулировки не может не вызывать тревоги. Согласно представлениям Ньютона, Вселенная — подобие великанских часов, заведенных в начале времен и с тех пор тикающих потому, что они подчиняются трем ньютоновским законам движения; теперь же этот образ Вселенной вытеснили неопределенность и случайность. Квантовая теория раз и навсегда уничтожила ньютоновскую мечту о математическом предсказании движения всех частиц Вселенной.

Если квантовая теория и противоречит нашему здравому смыслу, то лишь потому, что природе, похоже, до нашего здравого смысла нет никакого дела. Какими бы чуждыми и шокирующими ни казались нам эти идеи, подтверждение им можно легко получить в лабораторных условиях. В этом можно убедиться на примере известного эксперимента с двумя щелями — опыта Юнга. Представьте, что мы направляем пучок электронов на экран с двумя маленькими щелями. За экраном помещена чувствительная фотобумага. Согласно классической физике XIX в. пучки электронов должны оставить на фотобумаге два крошечных пятнышка за щелями. Но когда этот эксперимент провели в лаборатории, то на бумаге обнаружилась картина интерференции (чередование светлых и темных полос), которую принято ассоциировать с поведением, свойственным волне, а не частице (рис. 5.1). (Простейший способ создать такую интерферограмму — вызвать волны в ванной ритмич-

ным похлопыванием по поверхности воды. Похожий на паутину рисунок волн, пересекающихся на поверхности воды, — это и есть результат интерференции, созданной столкновением многочисленных волновых фронтов.) Рисунок на фотобумаге соответствует волне, которая проникла сквозь обе щели одновременно, а затем интерферировала сама с собой за экраном. Поскольку интерференционная картина получилась вследствие коллективного движения множества отдельных электронов и волна прошла сквозь обе щели одновременно, мы наивно приходим к абсурдному выводу, что электроны способны каким-то образом одновременно проникать в *обе щели*. Но как может электрон быть в одно и то же время в двух местах? Согласно квантовой теории электрон — действительно точечная частица, способная пройти сквозь одну или другую щель, но электрон как волновая функция, распределенная в пространстве, проходит сквозь обе щели, а затем взаимодействует сам с собой. При всем недоверии к этой теории она была неоднократно подтверждена опытами. Как сказал однажды физик Джеймс Джинс, «вероятно, обсуждать, сколько места занимает электрон, так же бессмысленно, как обсуждать, сколько места занимает страх, тревога или неопределенность»¹. (Однажды в Германии я увидел на бампере наклейку, которая предельно лаконично выражала вышесказанное. Она гласила: «Возможно, здесь ночевал Гейзенберг».)

4. Существует конечная вероятность, что частицы способны совершать «туннельный проход», или квантовый скачок через непроницаемые барьеры.

Это одно из самых потрясающих предсказаний квантовой теории. На атомном уровне оно имело прямо-таки феноменальный успех. Туннелирование, или квантовый скачок через препятствия, выдержало все испытания в лабораторных условиях. В сущности, без туннелирования сейчас трудно представить себе мир.

Простой опыт, демонстрирующий правильность предположения о квантовом туннелировании, начинается с того,

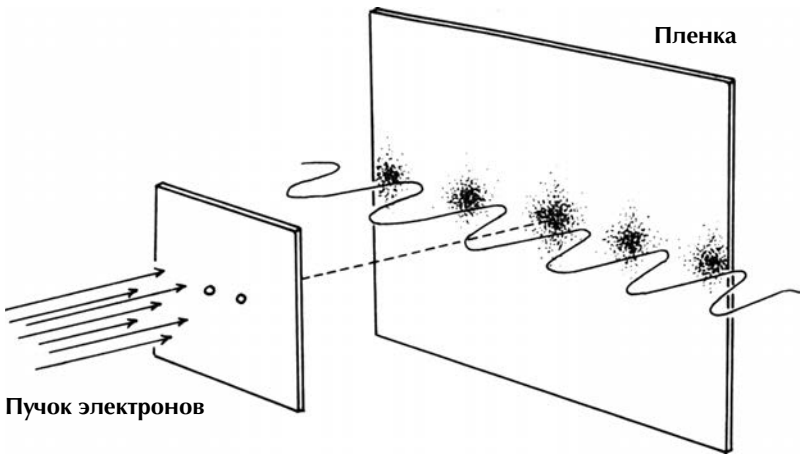


Рис. 5.1. Пучок электронов проходит сквозь два маленьких отверстия и экспонирует часть пленки. Мы рассчитываем увидеть на ней два пятнышка, но вместо этого находим волнообразный интерференционный рисунок. Как это возможно? По квантовой теории электрон — действительно точечная частица и не может пройти сквозь оба отверстия, в отличие от волны Шрёдингера, связанной с каждым электроном, которая способна проходить сквозь оба отверстия и интерферировать сама с собой

что электрон помещают в ящик. В нормальных условиях электрону не хватает энергии, чтобы проникнуть сквозь стенки ящика. Если классическая физика верна, значит, этот ящик электрон не покинет никогда. Но согласно квантовой теории волна вероятности электрона распространится по ящику и просочится в большой мир. Это просачивание сквозь стенку ящика можно точно вычислить с помощью волнового уравнения Шрёдингера; иными словами, есть небольшая вероятность, что электрон находится где-то за пределами ящика. Можно выразиться иначе: есть конечная, но небольшая вероятность, что электрон проникнет через барьер (стенку ящика) и выйдет из ящика. В лаборатории результаты измерения скорости туннелирования электронов сквозь барьеры полностью согласуются с квантовой теорией.

Это квантовое туннелирование, или туннельный эффект, — секрет действия туннельного диода, в чистом виде квантово-

механического устройства. Как правило, электричеству не хватает энергии для прохождения через туннельный диод. Но, как и волны, электроны могут проходить сквозь барьеры диода, поэтому с довольно существенной вероятностью электричество появится по другую сторону барьера благодаря туннельному эффекту. Слушая прекрасные звуки стереофонической музыки, помните: вы слышите ритмы, в которых триллионы электронов подчиняются этому и другим удивительным законам квантовой механики.

Если бы квантовая механика была ошибочной, тогда перестала бы функционировать вся электроника, в том числе телевизоры, компьютеры, радио- и стереоприемники и т. д. (Мало того, если бы квантовая теория была неверна, атомы, из которых состоят наши тела, распались бы, и мы бы мгновенно исчезли. Согласно уравнениям Максвелла электроны, вращающиеся в атоме, должны были бы в пределах микросекунды терять свою энергию и проникать в ядро. Квантовая теория предотвращает это внезапное разрушение. Таким образом, сам факт нашего существования — наглядное свидетельство правильности квантовой механики.)

Кроме того, это означает существование конечной и поддающейся вычислению вероятности того, что «невозможные» события произойдут. Например, я могу подсчитать вероятность того, что неожиданно исчезну, пройду Землю насквозь и вновь возникну на Гавайях. (Следует отметить, что время, которое нам придется провести в ожидании подобного события, превышает продолжительность существования Вселенной. Так что мы не можем использовать квантовую механику для прокладки туннелей к излюбленным местам отдыха по всему миру.)

Поле Янга–Миллса. Приемники Максвелла

После первого громкого успеха в 1930–1940-х гг., не имеющего прецедентов в истории науки, к 1960-м гг. квантовая физика

начала выдыхаться. Мощные ускорители частиц, построенные для разрушения ядра атома, позволили обнаружить среди остатков сотни загадочных частиц. По сути дела, физиков захлестнул бурный поток экспериментальных данных, поступающих из ускорителей.

Если Эйнштейн вывел основы общей теории относительности при помощи одной только интуиции, то в 1960-е гг. специалисты по физике частиц не страдали от нехватки экспериментальных данных. Как признавался Энрико Ферми, один из создателей атомной бомбы, «если бы я был в состоянии запомнить названия всех этих частиц, я стал бы ботаником»². По мере того как среди обломков разрушенных атомов обнаруживались сотни «элементарных» частиц, специалисты предлагали бесчисленное множество объяснений, связанных с этими частицами, но успеха эти объяснения не имели. Количество неверных гипотез было настолько велико, что даже появилась шутка о периоде полураспада теории субатомной физики, составляющем всего два года.

Когда смотришь на все эти тупиковые пути и неудачные начала физики частиц того периода, невольно вспоминается анекдот про ученого и блоху.

Однажды ученый выдрессировал блоху, чтобы она подпрыгивала при звуке колокольчика. Затем, используя микроскоп, он обездвижил одну лапку блохи и после этого позвонил. Блоха все равно подпрыгнула.

Ученый обездвижил вторую лапку и опять позвонил. Блоха снова подпрыгнула.

Так ученый раз за разом выводил из строя конечности блохи, но, когда подавал сигнал, всякий раз записывал в журнале наблюдений, что блоха сделала прыжок.

Наконец непарализованной осталась лишь одна блошиная нога. Когда же ученый обездвижил и эту ногу и подал сигнал, к его удивлению, блоха не подпрыгнула.

И ученый торжественно обнародовал вывод, сделанный на основании неопровержимых научных данных: блохи слышат с помощью ног!

Хотя специалисты в области физики высоких энергий часто напоминают ученых из этого анекдота, за несколько десятилетий постепенно начала складываться последовательная квантовая теория вещества. В 1971 г. голландец, аспирант Герард 'т Хоофт, которому в то время было немногим больше двадцати лет, сделал ключевое открытие, способствовавшее единому описанию трех квантовых сил (за исключением силы тяготения), в итоге изменившее ландшафты теоретической физики.

Опираясь на аналогию с фотонами, квантами света, физики предположили, что слабое и сильное взаимодействия вызвано обменом квантами энергии, получившими название квантов полей Янга–Миллса. Поля Янга–Миллса, которые в 1954 г. открыли Чжэньнин Янг и его ученик Роберт Миллс, представляют собой обобщение поля Максвелла, введенного веком ранее для описания света, с той разницей, что поле Янга–Миллса может быть более многокомпонентным и иметь электрический заряд (фотон электрическим зарядом не обладает). В случае слабого взаимодействия квант, соответствующий полю Янга–Миллса, — это W -частица, которая может иметь заряд, равный $+1$, 0 или -1 . Для случая сильного взаимодействия квант, соответствующий полю Янга–Миллса, — тот «клей», который удерживает вместе протоны и нейтроны, — был назван глюоном.

Несмотря на то что в целом картина выглядела убедительно, в 1950–1960-е гг. физиков сбивало с толку то, что поле Янга–Миллса не относится к «перенормируемым», т. е. не дает конечных и значимых величин применительно к простым взаимодействиям. Таким образом, с точки зрения описания слабых и сильных взаимодействий квантовая теория бесполезна. Квантовая физика уперлась в глухую стену.

Проблема возникла, так как физики, вычисляя, что произойдет при столкновении двух частиц, пользовались так называемой теорией возмущений, т. е. завуалированным способом указать, что они прибегали к хитроумным приближениям. К примеру, на рис. 5.2, *a* мы видим, что происходит при столкновении электрона с другой частицей, участвующей в слабом

взаимодействии, — неуловимым нейтрино. На первый взгляд, это взаимодействие можно описать диаграммой (она называется «*диаграммой Фейнмана*»), показывающей, что обмен квантом слабого взаимодействия — W -частицей — происходит между электроном и нейтрино. В первом приближении мы получаем грубое, но приемлемое соответствие экспериментальным данным.

Однако согласно квантовой теории в наше первое приближение следует внести небольшие поправки. Чтобы сделать наши вычисления строгими, надо также добавить к диаграммам Фейнмана все возможные линии, в том числе с «петлями» на них, как на рис. 5.2, б. В идеале эти квантовые поправки должны быть совсем маленькими. Ведь как мы уже упоминали, квантовая теория для того и предназначена, чтобы вносить крохотные квантовые поправки в ньютонову физику. Но, к ужасу ученых, эти квантовые поправки, или «петлевые линии», оказались не маленькими, а бесконечными. Как ни мудрили физики над своими формулами, как ни пытались замаскировать эти бесконечные величины, расхождения упорно обнаруживались при любых вычислениях квантовых поправок.

Более того, поле Янга–Миллса приобрело устрашающую репутацию метода, головоломно усложняющего расчеты — в сравнении с более простым полем Максвелла. Согласно мифам, с которыми ассоциируется поле Янга–Миллса, для практических вычислений оно совершенно не подходит ввиду своей сложности. Вероятно, 'т Хоофту просто повезло: будучи аспирантом, он еще не успел заразиться предубеждениями маститых физиков. Пользуясь методами, которые первым описал его научный руководитель Мартинус Велтман, 'т Хоофт доказал: всякий раз, когда мы сталкиваемся с «нарушением симметрии» (о нем мы поговорим далее), поле Янга–Миллса приобретает массу, но остается конечной теорией. 'т Хоофт продемонстрировал, что благодаря графам с петлями можно не рассматривать бесконечности или нивелировать их влияние.

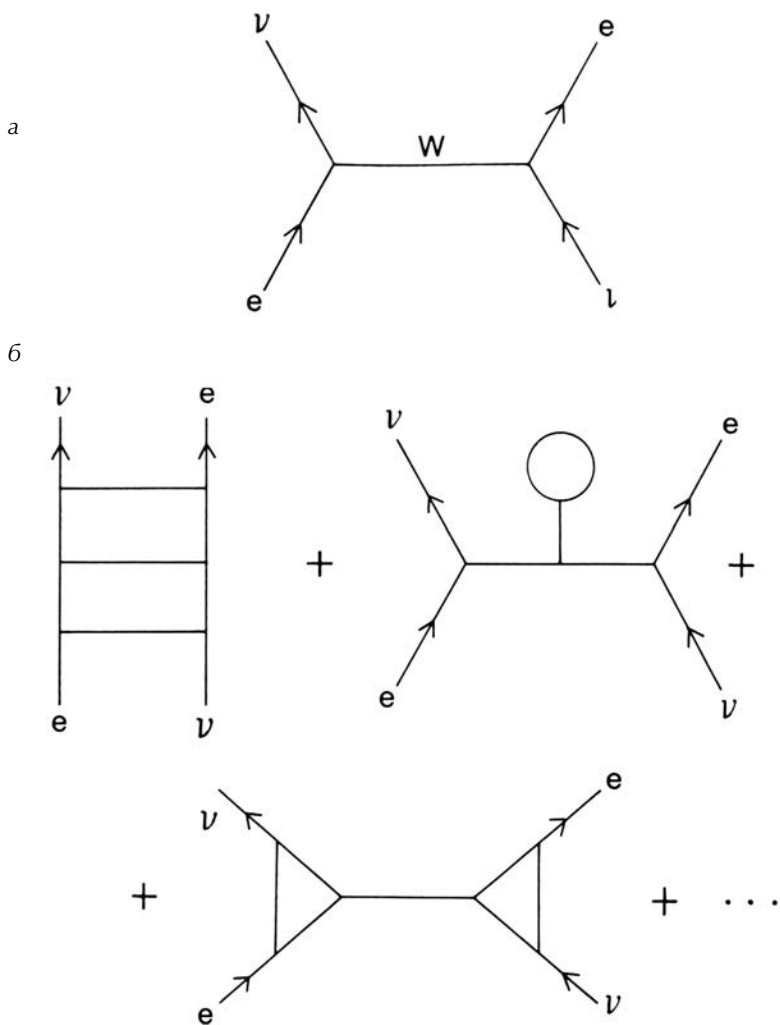


Рис. 5.2. а — по квантовой теории при столкновении субатомные частицы обмениваются порциями энергии, или квантами; электроны и нейтрино обмениваются квантом слабого взаимодействия, называемым W -частицей; б — для вычисления полного взаимодействия электронов и нейтрино необходимо добавить бесконечный ряд линий — диаграмм Фейнмана, на которых обмен квантами представлен в виде постепенно усложняющихся геометрических рисунков. Этот процесс добавления бесконечного ряда линий к диаграммам Фейнмана называется теорией возмущений

Почти через 20 лет после того, как поле Янга–Миллса было предложено авторами, Хоофт наконец доказал, что оно является корректной и однозначной теорией взаимодействия частиц. Известие о работе 'т Хоофта распространилось молниеносно. Нобелевский лауреат Шелдон Глэшоу вспоминает, что он, услышав эту новость, воскликнул: «Либо этот парень полный кретин, либо величайший гений, появившийся в физике впервые за много лет!»³ Дальнейшее развитие событий было стремительным. Быстро выяснилось, что верна более ранняя теория слабого взаимодействия, предложенная в 1967 г. Стивеном Вайнбергом и Абдусом Саламом. К середине 1970-х гг. поле Янга–Миллса было применено к сильному взаимодействию. Тогда же, в 1970-х гг., к физикам пришло ошеломляющее понимание, что поле Янга–Миллса может оказаться ключом к тайнам всей ядерной материи.

Таким оказался недостающий элемент головоломки. Секрет «дерева», связующий воедино материю, — не геометрия Эйнштейна, а поле Янга–Миллса. По-видимому, именно оно, а не геометрия, представляло собой главный урок физики.

Стандартная модель

Сегодня поле Янга–Миллса открыло возможность всеобъемлющей теории материи. Мы настолько уверены в этой теории, что ласково называем ее *Стандартной моделью*.

Стандартная модель способна объяснить все экспериментальные данные, касающиеся субатомных частиц с энергией вплоть до 1 ТэВ (энергией, возникающей при ускорении электрона в поле, созданном разностью потенциалов в триллион вольт). Это почти предел для ускорителей, существующих в настоящее время*. Следовательно, можно без преувеличения сказать, что Стандартная модель — самая удачная теория в истории науки.

* До запуска Большого адронного коллайдера. — Прим. науч. ред.

Согласно Стандартной модели каждое взаимодействие, связывающее различные частицы, создается при обмене различными видами квантов. Сейчас мы рассмотрим силы по отдельности, а затем объединим их в Стандартную модель.

Сильное взаимодействие

Стандартная модель гласит, что протоны, нейтроны и другие тяжелые частицы вовсе не являются элементарными, а состоят из других, еще более малых частиц — *кварков*. В свою очередь, кварки различают по трем «цветам» и шести «ароматам» (эти термины не имеют никакого отношения к цветам и ароматам в привычном понимании этих слов). Существуют также аналоги кварков, характерные для антиматерии, — антикварки. (Антиматерия идентична материи во всех отношениях, но имеет противоположные заряды и аннигилирует при соприкосновении с обычной материей.) Таким образом, получаем $3 \times 6 \times 2 = 36$ кварков.

В свою очередь, кварки удерживаются вместе благодаря обмену небольшими порциями энергии — *глюонами*. Математически эти глюоны описываются полем Янга–Миллса, которое «сгущается» в липкую субстанцию, которая прочно связывает кварки между собой. Глюонное поле обладает такой силой и связывает кварки так прочно, что их невозможно оторвать друг от друга. Это явление называется *кварковым конфайнментом*, им можно объяснить причину, по которой свободные кварки так и не удалось получить экспериментальным путем.

Например, протон и нейтрон можно сравнить с тремя стальными шарами (кварки) в метательном снаряде для ловли скота *бола*, им не дает разлететься Y-образная бечевка (глюон). Другие частицы, между которыми существует сильное взаимодействие, например *π-мезон*, можно сравнить с кварком и антикварком, которые удерживаются вместе одной бечевкой (рис. 5.3).

Ясно, что при воздействии на эту конструкцию из стальных шаров мы можем заставить ее колебаться. В мире квантов допустим лишь дискретный набор колебаний. Каждая вибрация группы стальных шаров или кварков соответствует определенному типу субатомных частиц. Таким образом, эта простая (но имеющая огромное значение) схема объясняет, что существует бесконечное множество частиц, связанных сильным взаимодействием. Часть Стандартной модели, описывающая сильное взаимодействие, называется квантовой хромодинамикой (КХД) — квантовой теорией цветового взаимодействия.

Слабое взаимодействие

По Стандартной модели, сила слабого взаимодействия обуславливает свойства таких лептонов, как электрон, мюон, тау-мезон и соответствующие им нейтрино. Подобно другим силам, лептоны взаимодействуют, обмениваясь квантами, которые называются W - и Z -бозонами. Математически эти кванты также описываются полем Янга–Миллса. В отличие от глюонной силы, взаимодействие, созданное обменом W - и Z -бозонами, слишком слабое, чтобы привести связанные лептоны в резонанс, поэтому мы и не видим появляющееся при работе ускорителей бесконечное множество лептонов.

Электромагнитное взаимодействие

В Стандартную модель входит максвелловская теория взаимодействия с другими частицами. Эта часть Стандартной модели, объясняющая взаимодействие электронов и света и именуемая квантовой электродинамикой (КЭД), подтверждена экспериментально и верна с точностью до одной десятиллионной — строго говоря, это самая точная теория в истории.

Словом, плоды 50-летних исследований, на которые затрачено несколько сотен миллионов долларов государственных средств, дают нам следующую картину субатомной материи:

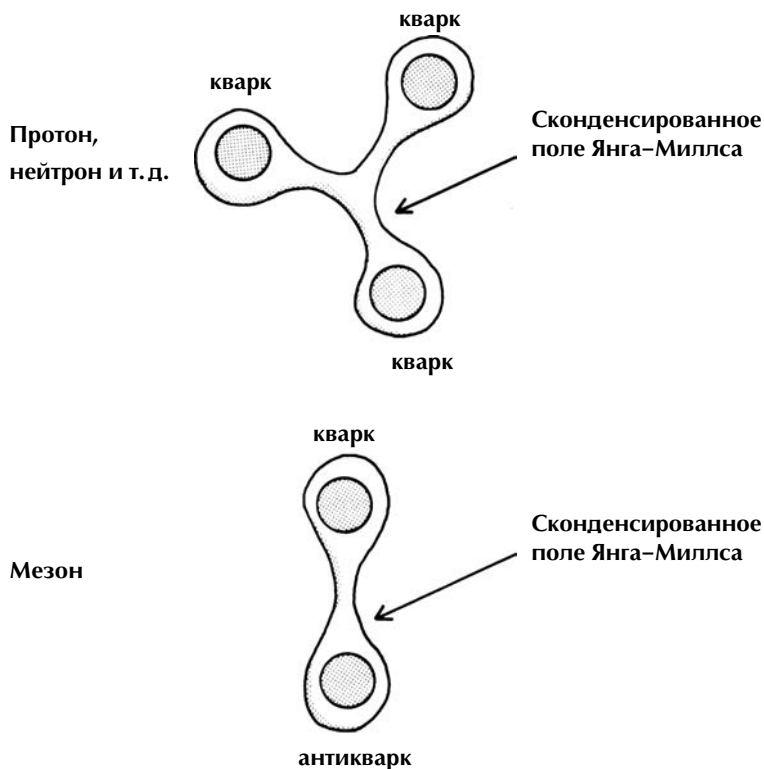


Рис. 5.3. Частицы, между которыми есть сильное взаимодействие, в действительности состоят из еще более мелких частиц, которые называются кварками. Они связаны друг с другом вязким «клеем», который описан полем Янга-Миллса. Протон и нейтрон состоят из трех кварков каждый, а мезон — из кварка и антикварка

вся материя состоит из кварков и лептонов, которые взаимодействуют, обмениваясь квантами разных видов, описанными полями Максвелла и Янга-Миллса. В одном предложении мы выразили суть продолжавшихся весь прошлый век обескураживающих исследований субатомного мира. Из этой простой картины можно с помощью одной только математики вывести бесчисленные и непостижимые свойства материи. (Теперь кажется, что это просто, между тем нобелевский лауреат Сти-

вен Вайнберг, один из авторов Стандартной модели, вспоминал, каким извилистым был 50-летний путь к ее открытию. Он писал: «В теоретической физике есть традиционное представление, которое, безусловно, влияло на всех, но на меня особенно. Было принято считать, что сильное взаимодействие — слишком сложное явление, непостижимое человеческим разумом»⁴.)

Симметрия в физике

Подробности Стандартной модели довольно скучны и малоинтересны. Самая интересная особенность этой модели — симметрия, лежащая в ее основе. Исследованиям материи («дерева») способствовало то, что несомненный признак симметрии виден в каждом взаимодействии. Кварки и лептоны появляются не в произвольном порядке, а согласно определенным закономерностям Стандартной модели.

Строго говоря, симметрией занимаются не только физики. Художники, писатели, поэты и математики с давних пор восхищались красотой, которую усматривали в симметрии. Поэт Уильям Блейк видел в симметрии мистические и даже пугающие свойства, о чем писал в стихотворении «Тигр»:

Тигр, о тигр, светло горящий
В глубине полночной чаши,
Кем задуман огневой
Соразмерный образ твой?^{*5}

Для математика Льюиса Кэрролла симметрия была привычным понятием и порой предметом шуток. В «Охоте на Снарка» он так выразил сущность симметрии:

Кипятите в опилках; солите в клею;
Саранчой и тесьмой укрепите;
Но и главную цель не забудьте свою —
Симметричность ему сохраните!^{**}

* Пер. С. Маршака. — *Прим. пер.*

** Пер. М. Пухова. — *Прим. пер.*

Иными словами, симметрия — это сохранение предметом формы даже после того, как мы деформируем или вращаем его. Несколько видов симметрии распространены в природе. Первый — симметрия вращений и отражений. К примеру, снежинка выглядит так же, как прежде, если повернуть ее на 60° . К тому же типу относится симметрия калейдоскопа, цветка, морской звезды. Мы называем ее пространственно-временной симметрией, создаваемой вращением объекта в пространственном или временном измерении. Симметрия специальной теории относительности — того же типа, так как описывает пространственно-временные вращения.

Симметрия еще одного типа возникает при перетасовке ряда объектов. Представьте себе уличного наперсточника, который передвигает три наперстка, под одним из которых спрятана горошина. Игру усложняет множество разных способов расстановки наперстков. По сути дела, переставить три наперстка можно шестью разными способами. Поскольку горошина не видна, для наблюдателя все шесть положений идентичны. Математикам нравится присваивать разным видам симметрии обозначения. Симметрия игры в наперстки названа S_3 — так обозначается количество способов взаимной перестановки трех идентичных предметов.

Если заменить наперстки кварками, тогда уравнения физики частиц должны оставаться неизменными при перестановке кварков. Если мы перетасовали три цветных кварка, а уравнения остались прежними, мы говорим, что этим уравнениям присуща симметрия $SU(3)$. Число 3 отражает тот факт, что в нашем распоряжении три цвета, а SU обозначает конкретное математическое свойство симметрии*. Мы говорим, что в *мультиплет* входят три кварка. Кварки в мультиплетной структуре можно перетасовывать, не меняя физического смысла теории.

Подобно этому, слабое взаимодействие определяет свойства двух частиц — электрона и нейтрино. Симметрия, которая подразумевает перестановку этих частиц, но уравне-

* SU (special unitary) относится к специальным унитарным матрицам, т. е. тем унитарным матрицам, у которых определитель равен единице. — *Прим. авт.*

ние при этом не меняется, называется $SU(2)$. Это означает, что мультиплет слабого взаимодействия содержит электрон и нейтрино, которые можно поворачивать один относительно другого. И наконец, силе электромагнитного взаимодействия присуща симметрия $U(1)$, предусматривающая вращение компонентов поля Максвелла в самом поле.

Все эти виды симметрии просты и элегантны. Однако самый спорный аспект Стандартной модели заключается в том, что оно «объединяет» три фундаментальных взаимодействия, просто сращивая все три теории и получая одну большую симметрию, $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, т. е. произведение симметрий отдельных сил. (Этот процесс можно сравнить со сборкой пазла. Если у нас есть три детали, которые не совсем точно прилегают друг к другу, мы всегда можем взять скотч и склеить их. Так и образуется Стандартная модель — путем склеивания трех отдельных мультиплетов вместе. Способ эстетически несовершенный, но по крайней мере благодаря скотчу три детали не распадаются.)

В идеале можно ожидать, что «теория всего» объединит все частицы в единственный мультиплет. Увы, в Стандартную модель входят три отдельных мультиплета, которые нельзя поворачивать относительно друг друга.

За пределами Стандартной модели

Сторонники Стандартной модели могут искренне утверждать, что она подходит для всех известных экспериментальных данных. Они могут справедливо отметить, что результатов опытов, которые противоречат Стандартной модели, не существует. Тем не менее даже самые ревностные защитники этой модели не верят, что она представляет собой окончательную теорию материи. Быть окончательной теорией она не может по ряду серьезных причин.

Во-первых, Стандартная модель не описывает гравитацию, поэтому неизбежно оказывается неполной. В результате попы-

ток срастить теорию Эйнштейна со Стандартной моделью получались абсурдные ответы. К примеру, когда мы вычисляли вероятность отклонения электрона в поле тяготения, гибридная теория давала нам бесконечную вероятность, что не имеет смысла. Физики говорят, что квантовая гравитация *неперенормируема*, т. е. она не дает разумных, конечных чисел, описывающих простые физические процессы.

Во-вторых, и это, вероятно, важнее всего, Стандартная модель на редкость безобразна, поскольку она грубо соединяет три совершенно разных взаимодействия. Лично я считаю, что Стандартную модель можно сравнить со скрещиванием животных трех совершенно разных видов (например, мула, слона и кита). В сущности, модель настолько искусственна и уродлива, что ее немного стесняются даже создатели. Они первыми принесли извинения за недостатки модели и признали, что их теория никак не может считаться окончательной.

Ее безобразию становится очевидным, если составить списки характеристик кварков и лептонов. Для того чтобы получить представление о недостатках этой теории, перечислим различные частицы и силы, входящие в Стандартную модель:

1. 36 кварков шести «ароматов» и трех «цветов», а также их аналоги из антиматерии, характеризующие сильное взаимодействие.
2. Восемь полей Янга–Миллса для описания глюонов, которые связывают друг с другом кварки.
3. Четыре поля Янга–Миллса, характеризующие слабое и электромагнитное взаимодействие.
4. Шесть типов лептонов для описания слабого взаимодействия (в том числе электрон, мюон, тау-лептон и соответствующие им аналоги нейтрино).
5. Загадочная «частица Хиггса», необходимая для образования масс и констант, описывающих частицы.
6. По меньшей мере 19 произвольных постоянных, которые описывают массы частиц и силы различных взаимодействий. Эти 19 констант приходится вводить вручную, во всяком случае в теории они не заданы.

Хуже того, этот длинный список частиц можно разделить на три семейства кварков и лептонов, практически неотличимых друг от друга. По сути дела, эти три семейства частиц — точные копии, дающие тройной избыток количества якобы элементарных частиц (рис. 5.4). (Тревогу внушает мысль о том, что известных нам в настоящее время элементарных частиц гораздо больше, чем было открыто субатомных частиц в 1940-е гг. Невольно задаешься вопросом, насколько элементарны эти элементарные частицы в действительности.)

Безобразие Стандартной модели можно противопоставить простоте уравнений Эйнштейна, в которых все выведено из первоначал. Для того чтобы понять эстетический контраст между Стандартной моделью и общей теорией относительности Эйнштейна, следует знать: когда физики говорят о «красоте» своих теорий, в действительности они подразумевают, что этим теориям присущи по меньшей мере два основных свойства:

1. Объединяющая симметрия.
2. Способность объяснять огромные объемы экспериментальных данных с помощью максимально экономичных математических выражений.

Стандартная модель не удовлетворяет ни одному из этих условий. Ее симметрия, как мы уже убедились, на самом деле образована путем сращения трех симметрий меньших масштабов, по одной для каждой из трех сил. Кроме того, по форме эта теория громоздкая и нескладная. Ее никак нельзя назвать экономичной. К примеру, уравнения Эйнштейна, записанные в развернутой форме, в длину занимают всего лишь дюйм (2,5 см) и не достигают даже величины одной строки в этой книге. Одной строки этих уравнений достаточно, чтобы выйти за пределы ньютоновских законов и вывести искривление пространства, Большой взрыв и другие астрономически значимые явления. А для того чтобы записать в развернутом виде Стандартную модель, потребуется две трети этой страницы, вдобавок написанное будет выглядеть как мешанина замысловатых символов.

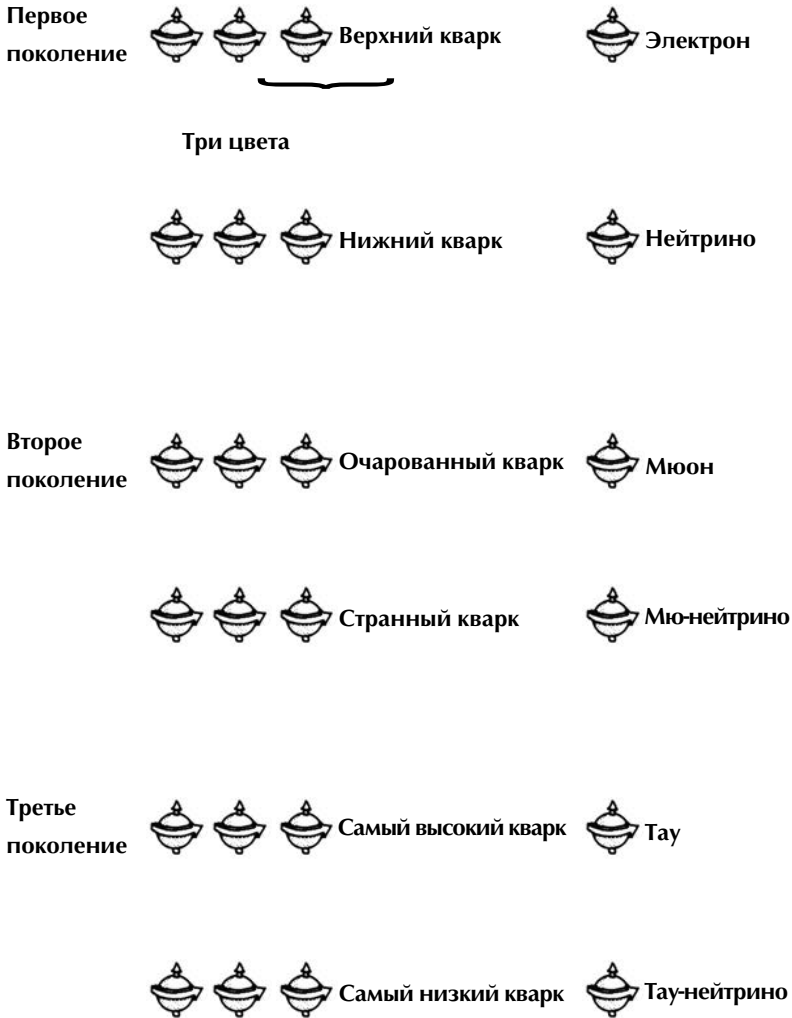


Рис. 5.4. Согласно Стандартной модели, первое поколение частиц состоит из верхнего и нижнего кварков (трех цветов, с ассоциирующимися с ними античастицами), электрона и нейтрино. Досадная особенность Стандартной модели заключается в том, что поколений таких частиц известно три, причем каждое поколение представляет собой почти точную копию предыдущего. С трудом верится, что природа способна на такую избыточность, как создание на фундаментальном уровне трех идентичных копий частиц

Ученые склонны считать, что природа предпочитает экономичность и всегда стремится избежать ненужной избыточности в физических, биологических и химических структурах. Что бы ни создавала природа — гигантских панд, молекулу протеина или черные дыры, — она действует бережливо. Или, как однажды отметил нобелевский лауреат Чжэньнин Янг, «по-видимому, природа пользуется преимуществами простых математических представлений законов симметрии. Если задуматься об элегантности и совершенстве относящихся к ним математических рассуждений и сопоставить их со сложными и масштабными физическими последствиями, невозможно не проникнуться чувством глубокого уважения к силе законов симметрии»⁶. А теперь мы обнаружили вопиющее нарушение этих законов на самом фундаментальном уровне. Существование трех идентичных семейств, каждого со своим нетипичным набором частиц, — одна из особенностей Стандартной модели, которая вызывает наибольшее беспокойство и создает непростую проблему для физиков: неужели от Стандартной модели — теории, которая имела самый громкий успех в истории науки, — следует отказаться только потому, что ей недостает элегантности?

А нужна ли красота?

Однажды на концерте в Бостоне я обратил внимание на то, как поразила слушателей сила и экспрессия Девятой симфонии Бетховена. После концерта, когда в голове у меня еще звучали волнующие мелодии, я прошел мимо опустевшей оркестровой ямы и заметил, как слушатели застывают возле нее и с удивлением разглядывают партитуру, оставленную музыкантами.

Я задумался: неискушенному взгляду партитура даже самой экспрессивной музыкальной пьесы должна казаться беспорядочной мешаниной неразличимых закорючек, похожих скорее на непонятные каракули, чем на прекрасное произведение

искусства. Но для опытного музыканта все эти такты, ключи, ноты, диезы и бемоли оживают и отзываются у него в голове. Музыкант способен слышать красоту гармоний и богатство звуков, просто просматривая партитуру. Значит, нотная запись музыки — нечто большее, чем сумма составляющих ее обозначений.

Точно так же определить поэтическое произведение как «набор слов, организованных согласно определенному принципу» — значило бы оказать ему плохую услугу. Это определение лишено не только выразительности, но и точности, так как не учитывает утонченную взаимосвязь между поэзией и эмоциями, которые она вызывает у читателя. Поэзия передает чувства и фантазии автора, и это несравненно больше, чем просто слова, напечатанные на бумаге. Несколько кратких слов японского трехстишия хайку, например, способны перенести читателя в новый мир ощущений и эмоций.

Подобно музыке или живописи, математические уравнения могут иметь естественное развитие и логику, вызывая порой настоящие страсти в душе ученого. Несмотря на то что эти уравнения непонятны непосвященным, для ученого каждое такое уравнение подобно одной из частей большой симфонии.

Простота. Элегантность. Эти свойства вдохновляли величайших художников на создание шедевров, и они же побуждают ученых искать законы природы. Подобно прекрасному полотну или запоминающемуся стихотворению, уравнения обладают собственной красотой и гармонией.

Физик Ричард Фейнман выразил эту мысль так:

Распознать истину можно по ее красоте и простоте. Если твоя догадка верна, ее справедливость очевидна, по крайней мере если у тебя есть хоть какой-то опыт, потому что обычно на основании малого делаются далекоидущие выводы... Несведущие люди, безумцы и им подобные могут высказывать простые догадки, но ошибочность этих догадок видна сразу, поэтому они не в счет. Студенты, которым недостает опыта, высказывают чрезвычайно сложные, запутанные предполо-

жения, которые на первый взгляд выглядят обоснованными, но я вижу, что это не так, потому что истина всегда оказывается проще, чем нам представляется⁷.

Французский математик Анри Пуанкаре высказался еще откровеннее, когда писал: «Ученый исследует Природу не потому, что она полезна, а потому, что он в восторге от нее, а в восторге он по той причине, что она прекрасна. Не будь Природа прекрасной, она была бы недостойна изучения, а если бы Природу не стоило изучать, не стоило бы и жить». В каком-то смысле физические формулы подобны стихотворениям о природе. Они коротки, организованы по некоему принципу, и лучшие из них передают скрытую симметрию природы.

Вспомним, например, что поначалу уравнений Максвелла было восемь. «Красивыми» их не назовешь. Симметричностью они не обладают. В своей исходной форме они безобразны, тем не менее это хлеб с маслом для каждого ученого-физика или инженера, который зарабатывает на жизнь благодаря радарам, радио, микроволнам, лазерам или плазмам. Эти восемь уравнений — все равно что гражданский кодекс для адвоката или стетоскоп для врача. Но если переписать эти уравнения, приняв время за четвертое измерение, довольно громоздкий набор сократится до единственного тензорного уравнения. Вот что физики называют «красотой», ведь теперь выполняются оба условия. Увеличивая количество измерений, мы вскрываем истинную, четырехмерную симметрию теории и получаем возможность объяснить множество экспериментальных данных с помощью единственного уравнения.

Как мы уже не раз видели, добавление высшего измерения приводит к упрощению законов природы.

Одна из величайших загадок, с которыми столкнулась современная наука, — происхождение таких симметрий, особенно в субатомном мире. Когда наши мощные установки расщепляют ядро атома, высвобождая энергию, превышающую триллион электронвольт, мы видим, что фрагменты могут располагаться

симметрично. Бесспорно, при достижении субатомного уровня происходит редкое и примечательное явление.

Однако наука предназначена не для того, чтобы восхищаться элегантною законов природы, а чтобы объяснять их. Главная проблема физики субатомных частиц заключается в следующем: исторически сложилось так, что мы понятия не имеем, *почему* в наших лабораториях и на классных досках возникли эти симметрии.

Именно поэтому терпит фиаско Стандартная модель. Какой бы удачной ни была эта теория, физики всего мира убеждены, что ее должна сменить теория более высокого порядка. Стандартная модель проваливает оба «теста» на красоту. В ней нет единой симметричной группы, и она не дает практического описания субатомного мира. Но что еще важнее, Стандартная модель не объясняет, откуда изначально берутся симметрии. Их просто принудительно соединили, без сколь угодно глубокого понимания их истоков.

Теории Великого объединения

Физик Эрнест Резерфорд, открывший ядро атома, однажды сказал: «Вся наука либо физика, либо филателия»⁸.

Он имел в виду две составляющие науки. Первая — физика, опирающаяся на фундамент физических законов. Вторая — таксономия (классификация и систематизация, как в филателии), иными словами, присваивание научных греческих названий объектам, о которых почти ничего не знаешь, на основании поверхностного сходства. В этом смысле Стандартная модель — не настоящая физика, а скорее, филателия, выстраивание субатомных частиц согласно некой поверхностной симметрии, но без малейшего понимания, откуда берется эта симметрия.

Так и Чарльз Дарвин, называя свой труд «Происхождение видов», выходил далеко за пределы таксономии и давал логичное объяснение многообразию животных в природе. Что требуется физике, так это аналог дарвиновского труда, который можно

было бы озаглавить «Происхождение симметрии», объясняющий причины появления в природе определенных симметрий.

Поскольку Стандартная модель настолько искусственна, было со смешанным успехом предпринято немало попыток отойти от нее. В частности, в конце 1970-х гг. пользовались популярностью теории Великого объединения (Grand Unified Theory — GUT), пытающиеся объединить симметрию сильного, слабого и электромагнитного квантов, включая их в более крупную симметричную группу (например, $SU(5)$, $O(10)$ или $E(6)$). Вместо того чтобы примитивным образом сращивать симметричные группы трех взаимодействий, теории Великого объединения исходили из более масштабной симметрии, требующей меньшего количества произвольных констант и допущений. Теории Великого объединения существенно увеличили количество частиц по сравнению со Стандартной моделью, а преимуществом стала замена громоздких групп $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ единственной симметричной группой. В простейшей из теорий Великого объединения, названной $SU(5)$, применяется 24 поля Янга–Миллса, но по крайней мере все эти поля Янга–Миллса принадлежат одной, а не трем разным симметричным группам.

Эстетическое преимущество теорий Великого объединения в том, что они подводят одну и ту же базу под сильное взаимодействие кварков и под слабое взаимодействие лептонов. Так, в $SU(5)$ мультиплет частиц состоит из трех цветных кварков, электрона и нейтрино. Вращения группы $SU(5)$ переводят эти частицы друг в друга без изменения физической модели их описания.

Первой реакцией на теории Великого объединения стал сильный скептицизм, так как энергия, при которой происходило объединение трех фундаментальных взаимодействий, составляла примерно 10^{15} млрд эВ, т. е. была немногим меньше планковской энергии. Ускорители частиц на Земле не обладали даже долей таких возможностей, и это обескураживало. Но постепенно физики прониклись идеей теорий Великого объединения, когда выяснилось, что они дали четкий и поддающийся проверке прогноз по распаду протона.

Вспомним, что в Стандартной модели такая симметрия, как $SU(3)$, предусматривает переход трех кварков друг в друга, т.е. мультиплет состоит из трех кварков. Это означает, что каждый из кварков при определенных условиях (например, при обмене частицы Янга–Миллса) может превратиться в один из двух других кварков. Но стать электронами кварки не могут. Мультиплеты не перемешиваются. Однако в симметричной группе $SU(5)$, согласно теориям Великого объединения, в мультиплете есть пять частиц, способных переходить одна в другую: три кварка, электрон и нейтрино. Это значит, что при определенных условиях можно превратить протон (состоящий из кварков) в электрон или нейтрино. Другими словами, теории Великого объединения гласят, что протон, который долгое время считали стабильной частицей с бесконечной продолжительностью жизни, на самом деле нестабилен. В принципе, это означает также, что все атомы Вселенной в конце концов распадутся, станут излучением. Если это предположение справедливо, значит, химические элементы, называемые в курсе элементарной химии устойчивыми, на самом деле нестабильны.

Но отсюда вовсе не следует, что атомы нашего организма в обозримом будущем распадутся и станут излучением. Вычисленный период распада протона на лептоны составляет порядка 10^{31} лет, т.е. значительно превосходит продолжительность существования Вселенной (15–20 млрд лет). Этот результат не смущает экспериментаторов. Поскольку в обычном резервуаре с водой содержится астрономическое количество протонов, существует поддающаяся измерению вероятность, что *какой-нибудь* протон в этом резервуаре подвергнется распаду, несмотря на то что *в среднем* период распада протона имеет космические временные масштабы.

Поиски протонного распада

Теоретические расчеты в течение некоторого времени подвергались проверке: несколько групп физиков всего мира про-

водили эксперименты стоимостью многие миллионы долларов. Создание детекторов, достаточно чувствительных, чтобы выявить протонный распад, потребовало дорогостоящих, сложных и современных технологий. Прежде всего экспериментаторам понадобились огромные резервуары, в которых протонный распад должен был происходить. Затем эти резервуары надо было наполнить богатой водородом жидкостью (например, водой или чистящим средством), из которой особым способом были отфильтрованы все примеси и загрязняющие вещества. И самое главное, эти резервуары требовалось зарыть в землю на большую глубину, чтобы уберечь от воздействия космического излучения, обладающего огромной проникающей способностью. Наконец, предстояло сконструировать тысячи высокочувствительных детекторов для фиксации слабых следов субатомных частиц, испускаемых при протонном распаде.

Примечательно, что к концу 1980-х гг. в мире действовало шесть гигантских детекторов, таких как детектор в лаборатории Камиока в Японии и детектор IMB (Ирвайн, Мичиган, Бруксгейвен) неподалеку от Кливленда, Огайо. Они содержали гигантские количества чистой жидкости (такой, как вода) — от 60 до 3300 тонн. (К примеру, детектор IMB, самый большой в мире, находится в огромном кубе со стороной 20 м, размещенном в соляной шахте под озером Эри. При любом спонтанном распаде протона в очищенной воде возникнет микроскопическая вспышка, которую уловит один из 2048 фотоэлементов.)

Для того чтобы понять, как эти исполинские детекторы способны измерить продолжительность жизни протона, приведем аналогию с американским населением. Нам известно, что среднестатистический американец может рассчитывать на продолжительность жизни около 70 лет. Но нам незначает ждать 70 лет, чтобы констатировать смертные случаи. Поскольку численность американцев велика, а точнее, превышает 250 млн человек, следует ожидать, что каждые несколько минут кто-нибудь из американцев умирает. Так и простейшая

теория Великого объединения SU (5) предполагает, что период полураспада протона должен составлять около 10^{29} лет, т. е. по прошествии 10^{29} лет *половина* протонов Вселенной распадется*. (Для сравнения: это примерно в 10 квинтиллионов раз больше продолжительности жизни самой Вселенной.) Этот срок кажется огромным, тем не менее детекторы должны улавливать даже столь редкие и мимолетные события просто потому, что в каждом таком детекторе очень много протонов. Точнее, в каждой тонне воды содержится более 10^{29} протонов. При таком их обилии ежегодно можно ожидать распада десятка протонов.

Но сколько ни ждали экспериментаторы, им так и не удалось увидеть неоспоримые свидетельства протонного распада. В настоящий момент более вероятной представляется продолжительность существования протона, превышающая 10^{32} лет, что противоречит упрощенным теориям Великого объединения, но допускает, что более сложные из этих теорий верны.

Поначалу восторг, связанный с теориями Великого объединения, выплеснулся в прессу. Поиски объединенной теории вещества и протонного распада привлекли внимание продюсеров научно-популярных фильмов и писателей. На телеканале Nova этим вопросам было посвящено несколько показов; об этом написаны популярные книги и многочисленные статьи в научных журналах. Но к концу 1980-х гг. фанфары умолкли. Сколько ни ждали физики, когда какой-нибудь протон распадется, протоны никак не желали содействовать им. В ожидании этого события несколько государств потратили десятки миллионов долларов, и все напрасно. Интерес общественности к теориям Великого объединения начал угасать.

Возможно, протоны все-таки распадаются и теории Великого объединения верны, но теперь физики гораздо осторожнее преподносят их как «окончательные» — по нескольким причинам. Как и Стандартная модель, теории Великого объединения

* Период полураспада — время, которое требуется для распада половины вещества. По прошествии двух периодов полураспада остается лишь четверть вещества. — *Прим. авт.*

не учитывают гравитацию. Если объединить их примитивным образом, получившаяся теория даст бесконечные, а следовательно, не имеющие смысла величины. Как и Стандартная модель, теории Великого объединения неперенормируемы. Более того, они сформулированы применительно к колоссальным энергиям, когда можно с уверенностью ожидать гравитационных проявлений. Таким образом, сам факт отсутствия гравитации в теориях Великого объединения является серьезным изъяном. Вдобавок их портит загадочное присутствие трех идентичных копий, или семейств, частиц. И наконец, эти теории не могут предсказывать такие фундаментальные константы, как массы кварков. Теориям Великого объединения недостает более масштабного физического закона для определения массы кварков и других констант на основании первопринципов. В конечном итоге теории Великого объединения также оказываются «филателией».

Главную проблему представляла неспособность поля Янга–Миллса служить «связующим веществом» для объединения всех четырех взаимодействий. Мир «дерева», отображаемый полем Янга–Миллса, оказался недостаточно мощным для объединения мира «мрамора».

После полувекового забвения наступил момент «реванша Эйнштейна».

6

Реванш Эйнштейна

Суперсимметрия — окончательное решение для полного объединения всех частиц.

Абдус Салам

Возрождение теории Калуцы–Клейна

Эту проблему называли «величайшей в науке всех времен». В прессе ее именовали святым Граалем физики, стремлением объединить квантовую теорию и гравитацию, тем самым создав «теорию всего». Эта задача не давала покоя самым блистательным умам XX в. Не вызывало сомнений, что решивший ее будет удостоен Нобелевской премии.

К 1980-м гг. физика зашла в тупик. Сила гравитации упрямо держалась особняком от трех других сил. Парадоксально, но, несмотря на то что первое представление о классической теории гравитации физики получили благодаря трудам Ньютона, к пониманию квантовой теории гравитации они пришли в последнюю очередь (из всех теорий взаимодействия).

Все корифеи физики пытались решить эту задачу, но безуспешно. Эйнштейн посвятил единой теории поля последние 30 лет своей жизни. Даже великий Вернер Гейзенберг, один из основателей квантовой теории, конец жизни посвятил попыткам создать свой вариант единой теории поля и опубликовал труд, посвященный этому предмету. В 1958 г. Гейзенберг объявил по радио, что ему вместе с его коллегой Вольфгангом Паули наконец удалось разработать единую теорию поля, недостает лишь некоторых технических деталей. (Когда

пресса распространила это ошеломляющее заявление, Паули пришел в ярость — из-за того, что Гейзенберг поспешил. Паули отправил соавтору письмо, в которое вложил чистый лист бумаги с подписью: «Вот доказательство, что я умею рисовать, как Тициан. Недостаёт лишь технических деталей»¹.)

Позднее в том же году Вольфганг Паули наконец прочел лекцию по единой теории поля Гейзенберга–Паули в присутствии физиков, жаждущих услышать недостающие подробности. Однако лекцию восприняли неоднозначно. Наконец, Нильс Бор поднялся и заявил: «Все мы единодушны в том, что ваша теория безумна. Мы расходимся лишь в вопросе о том, достаточно ли она безумна»². Попыток осуществить «окончательный синтез» предпринималось столько, что они породили ответный скептицизм. Лауреат Нобелевской премии Джулиан Швингер сказал: «Это не что иное, как очередной симптом болезни, которой страдает каждое поколение физиков, — непреодолимое желание получить ответы на все фундаментальные вопросы еще при жизни»³.

Но к 1980-м гг. «квантовая теория дерева» после полувека почти непрерывного успеха начала выдыхаться. Я отчетливо помню, какая атмосфера досады и раздражения царила в то время среди приунывших молодых физиков. Всем казалось, что Стандартную модель погубил ее же собственный успех. Она была настолько удачна, что каждая международная физическая конференция воспринималась как очередная печать одобрения. Все разговоры сводились к очередному успеху в скучном эксперименте со Стандартной моделью. На одной физической конференции я обернулся, чтобы взглянуть на зал, и обнаружил, что половина слушателей уже дремлет; между тем оратор продолжал бубнить и показывать одну схему за другой, демонстрируя способ увязать последние полученные данные со Стандартной моделью.

Я чувствовал себя как физики на рубеже веков. Они тоже, по-видимому, зашли в тупик. На протяжении десятилетий они занимались нудным делом, вписывали в таблицы данные по спектральным линиям разных газов или же решали уравне-

ния Максвелла для все более сложных металлических поверхностей. Поскольку в Стандартной модели девятнадцать незадаанных параметров, которые можно произвольно «настроить» на любую величину, как волну в радиоприемнике, мне представлялось, что физики потратят еще несколько десятилетий на поиски точного значения всех девятнадцати.

Пришло время совершить революцию. Следующее поколение физиков манил мир «мрамора».

И конечно, на пути к истинной квантовой теории гравитации возникло несколько серьезных проблем. Одна из проблем создания теории гравитации заключается в том, что сила этого взаимодействия ужасающе мала. К примеру, требуется масса всей Земли, чтобы удерживать обрывки бумаги на моем столе. Но расческой, которой я только что причесался, я могу поднять со стола эти бумажки, преодолевая силу планеты Земля. Электроны моей расчески гораздо мощнее силы притяжения целой планеты. А если мне понадобится сконструировать «атом» с электронами, притянутыми к ядру силой гравитации, а не электрической силой, такой атом должен будет иметь размеры Вселенной.

Обычно мы считаем силу гравитации пренебрежимо малой по сравнению с силой электромагнитного взаимодействия, следовательно, с огромным трудом поддающейся измерению. Но при попытке записать квантовую теорию гравитации ситуация меняется. Квантовые поправки, обусловленные гравитацией, сопоставимы с планковской энергией, или 10^{19} млрд эВ, т. е. значительно превосходят все возможности, достижимые на планете Земля в данном веке. Запутанность ситуации усугубляется при попытке построить исчерпывающую теорию квантовой гравитации. Как мы помним, специалисты по квантовой физике пытаются проквантовать силу: они разбивают ее на мелкие порции энергии, называемые квантами. При бессистемном квантовании теории гравитации ее функция постулируется как обмен мелкими порциями гравитации, или *гравитонами*. Стремительный обмен материи гравитонами — вот что удерживает ее от гравитационного распада. В этой

модели нам не дает оторваться от пола и улететь в космос со скоростью тысячу миль в час незримый обмен триллионами крохотных частиц-гравитонов. Но всякий раз, когда физики пытались произвести простые расчеты, чтобы вычислить квантовые поправки к законам гравитации Ньютона и Эйнштейна, они обнаруживали, что результат бесконечно велик и, следовательно, бесполезен.

Посмотрим, к примеру, что происходит при столкновении двух электрически нейтральных частиц. Для того чтобы получить диаграмму Фейнмана для данной теории, нам понадобится приближение, поэтому предположим, что кривизна пространства-времени, а значит, риманов метрический тензор приближается к единице. Предположим, что пространство-время неискривленное, почти плоское, тогда можно разложить компоненты метрического тензора как $g_{11} = 1 + h_{11}$, где 1 — плоское пространство в нашем уравнении, а h_{11} — поле гравитона. (Эйнштейн, конечно, пришел бы в ужас, узнав, как специалисты по квантовой физике уродуют его формулы, разбивая метрический тензор. Это все равно что взять прекрасную мраморную глыбу и разбить ее кувалдой.) Совершив это насилие, мы получаем квантовую теорию в традиционном виде. На рис. 6.1, а мы видим, что две нейтральные частицы обмениваются квантами гравитации, обозначенными полем h .

Проблема возникает при обобщении всех диаграмм с петлями: мы видим, что они расходятся, как на рис. 6.1, б. Для поля Янга–Миллса мы могли бы с помощью хитроумных фокусов перетасовывать все эти бесконечные величины, пока не сократим их или не получим величины, не поддающиеся измерению. Однако можно продемонстрировать, что обычные способы перенормировки не срабатывают, если мы применяем их к квантовой теории гравитации. Более чем полувековые старания физиков каким-либо способом избавиться от этих бесконечностей оказались тщетными. Другими словами, попытки сокрушить «мрамор» с помощью грубой силы потерпели крах.

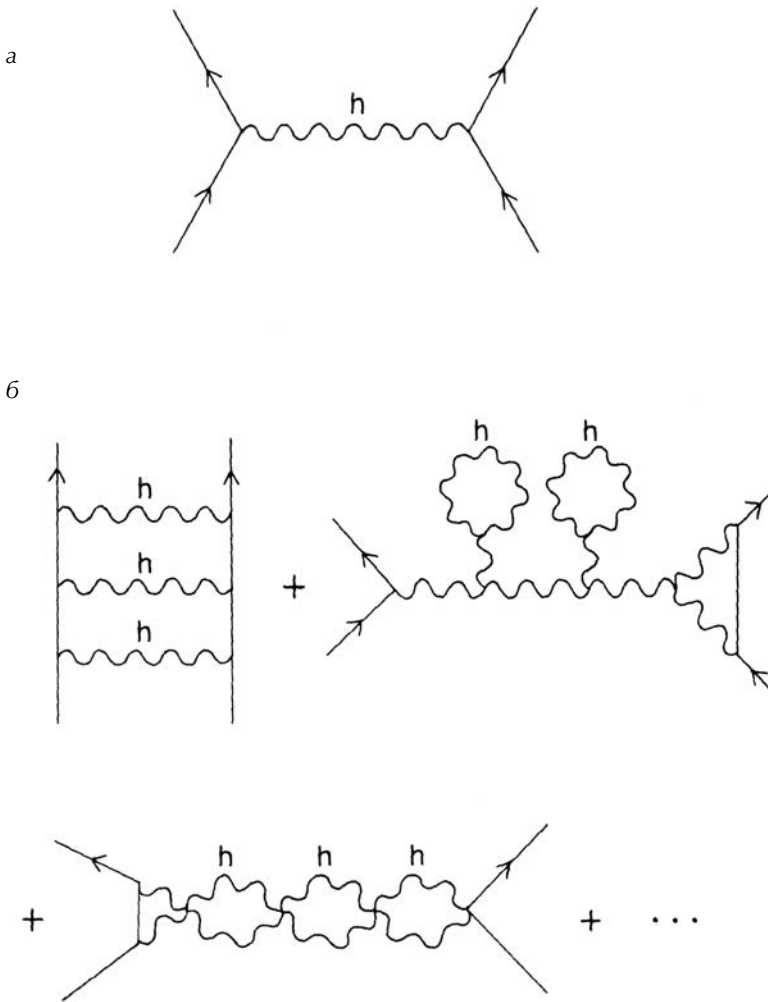


Рис. 6.1. а — в квантовой теории квант гравитационной силы, обозначенный буквой h и называемый гравитоном, образован при разложении риманова метрического тензора; согласно этой теории, объекты взаимодействуют, обмениваясь порциями гравитации. Таким образом, мы полностью теряем прекрасную геометрическую картину Эйнштейна; б — к сожалению, число схем с петлями бесконечно, что препятствовало объединению гравитации с квантовой теорией на протяжении последних пятидесяти лет. Квантовая теория гравитации, объединяющая ее с другими видами взаимодействия, — святой Грааль физики

А потом в начале 80-х гг. XX в. возникло любопытное явление. Как мы помним, теория Калуцы–Клейна не находила применения на протяжении 60 лет. Но физики были настолько раздосадованы неудачными попытками объединить гравитацию с другими квантовыми взаимодействиями, что начали преодолевать предубежденность по отношению к незримым измерениям и гиперпространству. Они были готовы на альтернативный вариант, и таковым оказалась теория Калуцы–Клейна.

Ныне покойный физик Хайнц Пейджелс так вспоминал ажиотаж вокруг возрождения теории Калуцы–Клейна:

После 30-х гг. XX в. концепция Калуцы–Клейна впала в немилость и многие годы не находила применения. Однако вновь оказалась в фокусе внимания в наши дни, после того как физики испробовали все мыслимые способы объединения силы гравитации с другими видами взаимодействия. В отличие от 1920-х гг., сегодня перед физиками стоит задача объединить гравитацию не только с электромагнетизмом, но и с сильным и слабым взаимодействиями. Для этого нужны и другие измерения помимо пятого⁴.

Даже нобелевский лауреат Стивен Вайнберг с энтузиазмом встретил ренессанс теории Калуцы–Клейна. Но нашлись и такие физики, которые скептически отнеслись к ее возрождению. Напоминая Вайнбергу, как трудно экспериментальным путем измерить эти компактифицированные измерения, Говард Джорджи из Гарварда сочинил следующий лимерик:

Стивен Вайнберг из Техаса
Поразить решил всех нас:
В шарик маленький свернул
Весь избыток измерений
Этот скромный гений⁵.

Хотя теория Калуцы–Клейна тоже была неперенормируема, живой интерес к ней пробудило то, что она давала надежду

на «мраморную» теорию. Превращение уродливой, беспорядочной «деревянной» мешанины в чистую, элегантную «мраморную» геометрию было мечтой Эйнштейна. Но в 1930-е и 1940-е гг. о природе «дерева» почти ничего не знали. А к 1970 г. Стандартная модель наконец раскрыла его тайну: оказалось, что материя состоит из кварков и лептонов, связанных вместе полем Янга–Миллса и подчиняющихся симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Задача заключалась в том, как получить эти частицы и загадочные симметрии из «мрамора».

Поначалу казалось, что это невозможно. Ведь симметрии, о которых идет речь, — результат обмена точечных частиц друг с другом. Если N кварков мультиплета перетасовать, получится симметрия $SU(N)$. Она выглядит исключительно симметрией «дерева», а не «мрамора». Какое отношение $SU(N)$ имеет к геометрии?

Превращение «дерева» в «мрамор»

Первая зацепка появилась в 1960-х гг., когда физики с радостью обнаружили, что есть и другой способ ввести симметрию в физику. Экстраполируя давнюю пятимерную теорию Калуцы–Клейна для N измерений, ученые поняли, что можно свободно совместить симметрию с гиперпространством. При свертывании пятого измерения они увидели, что из риманова метрического тензора внезапно возникает поле Максвелла. А свернув N измерений, физики обнаружили знаменитое поле Янга–Миллса — ключ к Стандартной модели!

Для того чтобы понять, как симметрия возникает из пространства, представим себе обычный пляжный мяч. Он симметричен: мы можем вращать мяч относительно его центра, и форма мяча не изменится. Симметрия пляжного мяча, или сферы, называется $O(3)$, или вращение в трех измерениях. Так и в высших измерениях гиперсферу можно вращать вокруг ее центра, чтобы она сохраняла прежнюю форму. Гиперсфера обладает симметрией $O(N)$.

А теперь представим себе вибрацию пляжного мяча. На его поверхности образуются мелкие волны. Если воздействовать на мяч определенным образом, можно вызвать упорядоченные вибрации, которые называются резонансными. Эти резонансные колебания, в отличие от обычных мелких волн, имеют строго определенные частоты. Если вызвать у пляжного мяча достаточно быструю вибрацию, можно получить музыкальный тон определенной частоты. В свою очередь, эти вибрации можно описать симметрией $O(3)$.

Общеизвестно, что мембрана, как и пляжный мяч, способна индуцировать резонансные частоты. Например, голосовые связки у нас в горле — это растянутые мембраны, которые вибрируют с определенной частотой, или резонансом, и поэтому могут производить звуки той или иной высоты. Еще один пример — наши органы слуха. Звуковые волны разных видов сталкиваются с нашей барабанной перепонкой, которая при этом резонирует с определенной частотой. Эти колебания затем преобразуются в электрические сигналы, поступающие в мозг, который интерпретирует их как звуки. По тому же принципу работает телефон. Металлическую диафрагму, которая есть в любом телефоне, приводят в движение электрические сигналы в телефонном проводе. При этом создаются механические вибрации и резонансные колебания в диафрагме, которая, в свою очередь, создает звуковые волны, которые мы слышим в трубке. По тому же принципу работают стереодинамики и оркестровые барабаны.

Таков эффект и для гиперпространства. Подобно мембране, оно может резонировать с различными частотами, которые, в свою очередь, могут определяться симметрией гиперпространства $O(N)$. Вдобавок математики придумали в высших измерениях немало поверхностей сложной формы, описываемых комплексными числами. (В комплексные числа входит квадратный корень из -1 , $\sqrt{-1}$.) Отсюда ясно, как доказать, что симметрия, соответствующая сложной «гиперсфере», — это $SU(N)$.

Ключевая мысль такова: если волновая функция частицы колеблется вдоль этой поверхности, то ей передается сим-

метрия $SU(N)$. Таким образом, таинственную симметрию $SU(N)$ из физики субатомных частиц теперь можно увидеть как *побочный эффект вибрации гиперпространства!* Иными словами, у нас появилось объяснение истоков загадочной симметрии «дерева»: на самом деле это скрытая симметрия, исходящая из «мрамора».

Если теперь мы возьмем теорию Калуцы–Клейна, определенную для $4 + N$ измерений, и свернем N измерений, то обнаружим, что уравнения разделяются на две части. Первая — это обычные уравнения Эйнштейна, которые мы восстанавливаем так, как и следовало ожидать. Но вторая часть уже не будет теорией Максвелла. Оказывается, все остальное — не что иное, как теория Янга–Миллса, образующая фундамент всей физики элементарных частиц! Это и есть ключ к превращению симметрии «дерева» в симметрию «мрамора».

Поначалу казалось почти мистикой то, что симметрия «дерева», которую искали в муках, методом проб и ошибок, скрупулезно изучая мусор из ускорителей частиц, почти автоматически возникает благодаря высшим измерениям. Удивительно, что симметрия, обнаруженная путем перетасовывания кварков и лептонов, появляется из гиперпространства. Понять это явление нам поможет аналогия. Материю можно сравнить с глиной, которая выглядит как бесформенный ком. Глине недостает элегантной симметрии, присущей геометрическим фигурам. Однако глиной можно заполнить симметричную литьевую форму. Если повернуть такую форму под неким углом, она останется симметричной. В этом случае глине передастся симметрия литьевой формы. Подобно материи, глина обретет симметрию, поскольку симметрией обладала литьевая форма — как и пространство-время.

Если эти рассуждения верны, тогда они означают, что странную симметрию кварков и лептонов, десятилетиями обнаруживаемых главным образом случайно, теперь можно расценивать как побочный эффект колебаний в гиперпространстве. К примеру, если незримые измерения обладают симметрией

$SU(5)$, значит, теории Великого объединения $SU(5)$ можно записать как теорию Калуцы–Клейна.

То же самое можно увидеть благодаря риманову метрическому тензору. Как мы помним, он напоминает поле Фарадея, но содержит гораздо больше компонентов. Его можно представить как квадраты на шахматной доске. Отделяя пятый вертикальный и горизонтальный ряды на шахматной доске, мы разграничим поле Максвелла и поле Эйнштейна. А теперь сделаем то же самое с теорией Калуцы–Клейна в $(4 + N)$ -мерном пространстве. Если отделить N вертикальных и горизонтальных рядов от первых четырех рядов по вертикали и по горизонтали, тогда мы получим метрический тензор, описывающий и теорию Эйнштейна, и теорию Янга–Миллса. На рис. 6.2 мы вырезали метрический тензор $(4 + N)$ -мерной теории Калуцы–Клейна, отделив поле Эйнштейна от поля Янга–Миллса.

По-видимому, одним из первых это упрощение выполнил физик из Техасского университета Брайс Девитт, посвятивший изучению квантовой гравитации много лет. Как только фокус с разложением метрического тензора был открыт, расчеты, необходимые для выделения поля Янга–Миллса, стали очевидными. Девитт считал выделение поля Янга–Миллса из N -мерной теории гравитации настолько простой математической задачей, что давал ее в качестве домашнего задания в летней школе физики в Лез-Уш, во Франции, в 1963 г. [Не так давно Питер Фройнд обнаружил, что Оскар Клейн открыл поле Янга–Миллса еще в 1938 г., на несколько десятилетий опередив Янга, Миллса и остальных. На проходившей в Варшаве конференции «Новые физические теории» Клейн объявил, что нашел способ обобщить работу Максвелла с учетом симметрии высшего порядка $O(3)$. Увы, из-за хаоса, вызванного Второй мировой войной, а также из-за всеобщего увлечения квантовой теорией, немаловажная теория Калуцы–Клейна оказалась забытой. Парадокс заключается в том, что теорию Калуцы–Клейна затмила квантовая теория, в основе которой в настоящее время лежит поле Янга–Миллса,



Рис. 6.2. Если перейти к N -ному измерению, тогда метрический тензор представляет собой ряд чисел N^2 , которые можно расположить в виде блока $N \times N$. Отсекая вертикальные и горизонтальные ряды, начиная с пятого, мы сможем выделить электромагнитное поле Максвелла и поле Янга-Миллса. Таким образом, теория гиперпространства дает возможность объединить поле Эйнштейна, описывающее гравитацию, с полем Максвелла (описывающим электромагнитное взаимодействие) и полем Янга-Миллса (описывающим слабое и сильное взаимодействие). Основопологающие взаимодействия складываются вместе точно, как элементы гигантской головоломки

впервые обнаруженное при анализе теории Калуцы-Клейна. В пылу энтузиазма по поводу квантовой теории физики не заметили главного открытия, которым мы обязаны теории Калуцы-Клейна.]

Получение поля Янга-Миллса из теории Калуцы-Клейна стало лишь первым шагом. Несмотря на то что симметрию «дерева» удалось разглядеть в скрытой симметрии незримых измерений, следующим этапом должно было стать создание самого «дерева» (состоящего из кварков и лептонов) исключительно из «мрамора». Этот следующий этап получил название супергравитации.

Супергравитация

Превращение «дерева» в «мрамор» по-прежнему сопровождалось серьезными затруднениями, так как согласно Стандартной модели все частицы обладают «спином». Нам уже известно, что «дерево» состоит из кварков и лептонов. Они, в свою очередь, обладают половиной единицы квантового спина (измеряющегося в единицах постоянной Планка \hbar). Частицы с полуцелым значением спина ($1/2$, $3/2$, $5/2$ и т. д.) называются *фермионами* (в честь Энрико Ферми, первым исследовавшего их необычные свойства). Однако взаимодействия описываются квантами с целочисленным спином. Например, фотон, или квант света, имеет спин, равный единице, как и поле Янга–Милса. У гравитона, гипотетической частицы гравитации, спин равен двум единицам. Такие частицы называются *бозонами* (в честь индийского физика Шатъендраната Бозе).

По традиции в квантовой теории проводилась четкая граница между фермионами и бозонами. И действительно, при любой попытке превратить «дерево» в «мрамор» неизбежно выяснялось, что фермионы и бозоны чуть ли не диаметрально противоположны по свойствам. Так, симметрия $SU(N)$ может менять кварки местами, но не перемешивать фермионы и бозоны. Поэтому открытие новой симметрии, названной *суперсимметрией* и способной к подобным перетасовкам, потрясло ученых. Уравнения для суперсимметрии позволяли менять местами фермион с бозоном без ущерба для уравнения. Иначе говоря, один мультиплет суперсимметрии состоит из равного количества бозонов и фермионов. При перетасовке бозонов и фермионов в пределах одного и того же мультиплета уравнения суперсимметрии остаются прежними.

При этом у нас возникает заманчивая возможность собрать все частицы Вселенной в один мультиплет! Как подчеркивал нобелевский лауреат Абдус Салам, «суперсимметрия — несомненное притязание на полное объединение всех частиц».

Суперсимметрия опирается на систему исчисления нового вида, способную довести до помешательства любого школь-

ного учителя. Большинство действий умножения и деления, которые мы принимаем как должное, для суперсимметрии не применимы. К примеру, если a и b — два «суперчисла», тогда $a \times b = -b \times a$. Конечно, для обыкновенных чисел это невозможно. Школьный учитель не принял бы суперчисла во внимание, так как можно показать, что $a \times a = -a \times a$, или, иначе говоря, что $a \times a = 0$. Если бы эти числа были обычными, выражение означало бы, что $a = 0$ и что вся система исчисления рухнула. Но в случае с суперчислами ничего подобного не происходит; мы имеем поразительное утверждение, согласно которому $a \times a = 0$ даже при $a \neq 0$. Несмотря на то что суперчисла опровергают почти все, что нам известно о числах с детства, можно доказать, что они образуют последовательную и в высшей степени нетривиальную систему. Примечательно, что на них можно построить принципиально новую систему суперисчисления.

В 1976 г. три физика — Дэниел Фридман, Серджи Феррара и Питер ван Ньювенхейзен из Университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук — разработали теорию супергравитации, которая стала первой реалистичной попыткой построить мир из одного только «мрамора». Согласно теории суперсимметрии у всех частиц есть суперпартнеры, называемые *счастичами* (sparticles). Теория супергравитации физиков из Стоуни-Брук содержит всего два поля: поле гравитона со спином, равным двум (т. е. бозон), и его партнера со спином $3/2$, названного *гравитино* («маленькая гравитация»). Поскольку для Стандартной модели частиц недостаточно, были предприняты попытки увязать эту теорию с более сложными частицами.

Простейший способ включить в теорию супергравитации материю — записать эту теорию для 11-мерного пространства. А чтобы записать супертеорию Калуцы–Клейна для 11 измерений, надо увеличить количество компонентов риманова тензора, который при этом становится римановым супертензором. Для того чтобы представить, как супергравитация преобразует «дерево» в «мрамор», запишем метрический тензор

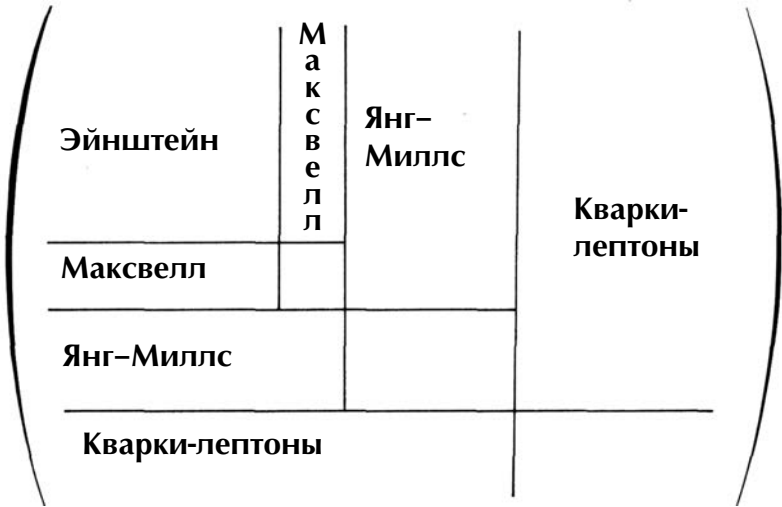


Рис. 6.3. Супергравитация — это почти воплощенная мечта Эйнштейна об исключительно геометрическом методе выведения всех взаимодействий и частиц Вселенной. Для того чтобы убедиться в этом, обратите внимание: если добавить суперсимметрию к риманову метрическому тензору, он удваивается в размерах, в итоге у нас появляется риманов метрический супертензор. Новые компоненты этого супертензора соответствуют кваркам и лептонам. Разделяя риманов супертензор на компоненты, мы обнаружим, что он содержит почти все элементарные частицы и взаимодействия, какие есть в природе: теорию гравитации Эйнштейна, поля Янга-Миллса и Максвелла, кварки и лептоны. Но, поскольку в этой картине отсутствуют конкретные частицы, мы вынуждены обратиться к более эффективному набору формул — к теории суперструн

и посмотрим, каким образом супергравитации удастся объединить поле Эйнштейна, поле Янга-Миллса и материальные поля в единое поле супергравитации (рис. 6.3). Важная особенность этой схемы заключается в том, что материя наряду с уравнениями Янга-Миллса и Эйнштейна теперь включена в то же самое 11-мерное поле супергравитации. Суперсимметрия — это симметрия, которая методом перетасовки превращает «дерево» в «мрамор» и наоборот в пределах поля супергравитации. Таким образом, все они — проявления одной

и той же силы — силы супервзаимодействия. «Дерево» уже не существует как обособленная данность. Теперь оно слито с «мрамором» и образует «супермрамор» (рис. 6.4)!

На физика Питера ван Ньювенхайзена, одного из авторов теории супергравитации, произвел глубокое впечатление скрытый смысл этого суперобъединения. Этот ученый писал, что супергравитация «способна объединить теории Великого объединения... с гравитацией и послужить созданию модели с почти полным отсутствием свободных параметров. Это уникальная теория с местной калибровочной симметрией фермионов и бозонов, самая прекрасная калибровочная теория — настолько прекрасная, что о ней следовало бы знать Природе!»⁶

Я тепло вспоминаю, как посещал лекции и выступал с докладами на многих конференциях, посвященных супергравита-

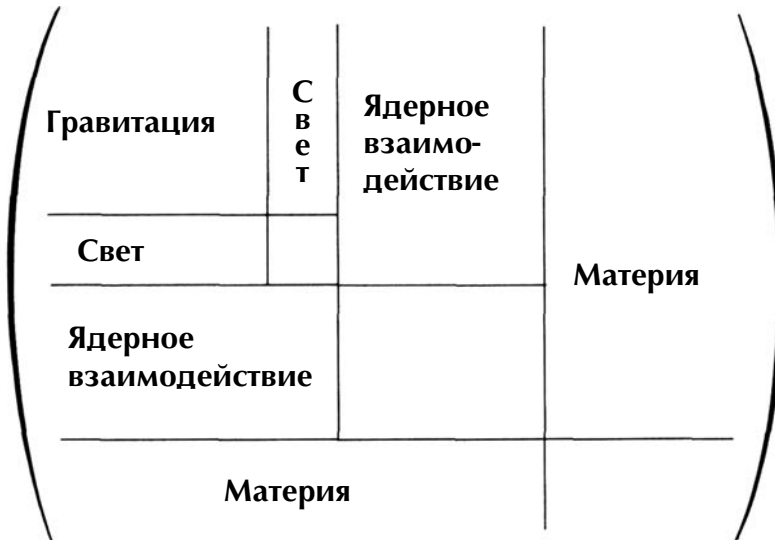


Рис. 6.4. Благодаря теории супергравитации нам почти удалось объединить все известные взаимодействия («мрамор») с материей («дерево»). Словно элементы головоломки, они укладываются в риманов метрический тензор. Таким образом, мечта Эйнштейна почти осуществилась

ции. На них возникало отчетливое ощущение, будто мы приблизились к некоему важному рубежу. Хорошо помню череду восторженных тостов в честь непрекращающихся успехов теории супергравитации на одной встрече в Москве. Казалось, что теперь, по прошествии 60 лет, мы наконец осуществим мечту Эйнштейна о Вселенной из «мрамора». Некоторые из нас в шутку называли происходящее «реваншем Эйнштейна».

Когда 29 апреля 1980 г. космолог Стивен Хокинг был удостоен Лукасовской именной профессуры (ранее ее удостаивались такие гении физики, как Исаак Ньютон и Поль Дирак), его лекцию под многообещающим названием «Конец теоретической физики?» прочитал за него один из студентов: «В последние годы мы добились значительного прогресса, и я намерен показать далее: есть некоторые основания для оптимистичных, хоть и осторожных надежд, что мы увидим теорию во всей ее полноте еще при жизни некоторых из присутствующих здесь».

Супергравитация постепенно приобретала широкую известность, у нее даже начали появляться последователи среди представителей самых разных верований. В частности, понятие «объединения» занимает центральное место в системе взглядов приверженцев трансцендентальной медитации. Они напечатали большой плакат с уравнениями, описывающими 11-мерную супергравитацию. Согласно их представлениям, каждый элемент уравнений символизирует нечто особенное: например, гармонию, любовь, братство и т. п. (Такой плакат висит на стене в Институте теоретической физики в Стоуни-Брук. Увидев его, я впервые узнал, что у абстрактного уравнения из области теоретической физики появились последователи из религиозной группы!)

Метрические супертензоры

Питер ван Ньювенхейзен — заметная фигура в научных кругах. Рослый, загорелый, атлетического сложения, элегантный, он похож скорее на актера, рекламирующего масло для загара

по телевидению, чем на одного из создателей теории супергравитации. Этот голландский физик в настоящее время преподает в Стоуни-Брук; он учился у Велтмана и 'т Хоофта, следовательно, вопрос объединения интересует его с давних пор. Он принадлежит к числу немногих знакомых мне физиков, наделенных поистине неистощимой способностью к выполнению утомительных математических расчетов. Работа с супергравитацией требует почти безграничного терпения. Как мы помним, в простой метрический тензор, представленный Риманом в XIX в., входит всего десять компонентов. В настоящее время на смену риманову метрическому тензору пришел супергравитационный супертензор, включающий в буквальном смысле сотни компонентов. В этом нет ничего удивительного: любая теория, имеющая отношение к высшим измерениям и претендующая на объединение всей материи, должна располагать достаточным количеством компонентов, однако при этом математическая сложность выражений значительно возрастает. (Иногда я задаюсь вопросом: что подумал бы Риман, если бы узнал, что по прошествии века его метрический тензор превратился в супертензор, во много раз превосходящий все, что только мог представить себе математик XIX в.?)

Появление теории супергравитации и супертензоров означало, что учебные программы по математике, которые обязан освоить студент, за последние десятилетия резко увеличились в объемах. Стивен Вайнберг отмечает: «Смотрите, что произошло с супергравитацией. Последние десять лет над этой проблемой работали удивительно способные люди. Среди них есть и таланты, каких в молодости я ни разу не встречал»⁷.

Петер не только превосходный математик, но и законодатель тенденций. Поскольку вычисления для единственного уравнения супергравитации могут с легкостью занять не один лист бумаги, он в конце концов начал пользоваться альбомами с листами нестандартного формата, какие выпускают для художников. Однажды я побывал у него в гостях и увидел, как он работает. Он начал записывать уравнения микроскопическим почерком в левом верхнем углу блокнота и дви-

гался вниз, пока не заполнил лист целиком, а потом перевернул страницу и начал все заново. Этот процесс продолжался несколько часов — до тех пор, пока работа не была сделана. Петер прервался лишь на то время, которое понадобилось, чтобы вставить карандаш в стоящую под рукой электрическую точилку, и уже через несколько секунд возобновил вычисления, не упустив ни единого символа. Исписанные альбомы он хранит на полке, где они стоят, как номера научного журнала. Со временем об этих альбомах узнал весь кампус. Вскоре они вошли в моду, студенты и аспиранты начали покупать альбомы и расхаживать по кампусу, неуклюже, но гордо придерживая их под мышками.

Однажды Петер, его друг Пол Таунсенд (ныне сотрудник Кембриджского университета) и я вместе работали над одной на редкость непростой задачей, связанной с супергравитацией. Вычисления оказались настолько сложными, что заняли несколько сотен страниц. Поскольку никто из нас не доверял себе полностью, мы договорились собраться у меня дома и сверить наши записи. Перед нами стояла пугающая задача: несколько тысяч членов требовалось привести к нулю. (Обычно мы, физики-теоретики, в состоянии мысленно манипулировать группами выражений, не прибегая к их записи на бумаге. Но ввиду продолжительности преобразований и сложности задачи нам пришлось проверять каждый минус в своих вычислениях.)

Мы разделили задачу на несколько больших частей. Устроившись за большим столом, все мы сосредоточенно работали над одной и той же частью. По прошествии часа нам предстояло проверить друг у друга полученные результаты. Обычно у двоих вычисления давали одинаковый результат, а в вычислениях третьего обнаруживалась ошибка. Потом мы переходили к следующей части задачи и повторяли то же самое, пока не получали одинаковый ответ. Повторные перекрестные проверки затянулись до поздней ночи. Мы знали, что достаточно одной ошибки на несколько сотен страниц, чтобы обесценить разом все вычисления. Наконец далеко за полночь мы

проверили последнее и окончательное выражение. Получился ноль, как мы и надеялись. Мы выпили за полученный результат. (Видимо, напряженные вычисления изнурили даже Петера, неутомимую рабочую лошадку. Выйдя от меня, он тут же забыл, где именно на Манхэттене находится новая квартира его жены. Он стучался в несколько дверей, разозлив незнакомых хозяев; потом выяснилось, что он ошибся домом. После тщетных поисков Петер и Пол нехотя направились обратно в Стоуни-Брук. Но, поскольку Петер забыл заменить неисправный тросик сцепления, тот лопнул, и машину пришлось толкать. До Стоуни-Брук они добрались только в пять утра!)

Упадок теории супергравитации

Со временем, однако, в теории супергравитации обнаружилось недостатки. Несмотря на интенсивные поиски, ни в одном эксперименте не удалось выявить частиц-суперпартнеров. К примеру, у электрона со спином $1/2$ не оказалось партнера с нулевым спином. До сих пор в нашем бедном энергией мире так и не было получено экспериментальным путем ни единого доказательства существования суперпартнеров. Тем не менее физики, работающие в этой области, твердо убеждены, что в момент сотворения, сопровождающийся колоссальным всплеском энергии, всем частицам соответствовали их суперпартнеры. Только при наличии такой невероятной энергии можно увидеть идеально суперсимметричный мир.

По прошествии нескольких лет, когда спала волна живого интереса и прошло множество международных конференций, стало ясно, что применить эту теорию к квантам невозможно; в итоге была развеяна иллюзия относительно теории исключительно из «мрамора». Подобно всем другим попыткам создать теорию материи только из «мрамора», теория супергравитации потерпела фиаско по элементарной причине. Сколько мы ни пытаемся вычислять величины с помощью подобных теорий, результатом оказываются бессмысленные бесконечно-

сти. Несмотря на то что в данном случае бесконечностей меньше, чем возникает при попытке применить исходную теорию Калуцы–Клейна, новая теория по-прежнему остается перенормируемой.

Этим проблемы не исчерпываются. Высшая симметрия $O(8)$, которую могла содержать супергравитация, оказалась непригодной для симметрии Стандартной модели. Выяснилось, что супергравитация — всего лишь очередной этап долгого путешествия к объединенной теории Вселенной. Она решила одну проблему (превращение «дерева» в «мрамор»), только чтобы пасть жертвой нескольких других. Но, как только интерес к супергравитации начал угасать, появилась новая теория — вероятно, самая неожиданная и вместе с тем наиболее эффективная физическая теория из всех когда-либо предложенных: десятимерная теория суперструн.

Суперструны

Теория струн — физика XXI в., случайно попавшая в XX в.

Эдвард Виттен

Эдвард Виттен из Института перспективных исследований в Принстоне, Нью-Джерси, лидирует в сфере теоретической физики. В настоящее время Виттен — «вожак стаи», блистательный специалист в области физики высоких энергий, задающий тон в научных сообществах подобно тому, как Пикассо задавал тон в мире искусства. Сотни физиков благоговейно изучают его труды, надеясь заметить проблеск новаторской идеи, прокладывающей им дорогу. Его коллега по Принстону Сэмюэл Трейман говорит: «Он возвышается над остальными более чем на голову. Не одна группа людей уже двинулась вслед за ним по совершенно новому пути. Он предлагает искусные доказательства, от которых у слушателей захватывает дух». И Трейман заключает: «Не стоит разбрасываться сравнениями с Эйнштейном, но когда речь идет о Виттене...»¹

Виттен вырос в семье физиков. Его отец Луис Виттен — профессор физики в Университете Цинциннати, ведущий специалист по общей теории относительности Эйнштейна. (Вообще-то, его отец временами заявляет, что его величайшим вкладом в физику стало рождение сына.) Его жена Кьяра Наппи занимается теоретической физикой.

Виттен не похож на других физиков. У большинства ученых роман с физикой начинается сравнительно рано (в среднем и даже в младшем школьном возрасте). Виттен поначалу спе-

циализировался на истории в Университете Брандейса и проявлял нескрываемый интерес к лингвистике. Окончив учебу в 1971 г., во время президентской предвыборной кампании он работал в команде Джорджа Макговерна, который даже написал ему рекомендацию в аспирантуру. Виттен публиковал статьи в журналах *The Nation* и *New Republic*. (Журнал *Scientific American* прокомментировал интервью с Виттеном: «Да, бесспорно, самый умный человек в мире — либеральный демократ»².)

Как только Виттен избрал своей профессией физику, он рьяно взялся за ее изучение, закончил аспирантуру в Принстоне, преподавал в Гарварде, а в возрасте 28 лет получил должность профессора опять-таки в Принстоне. Кроме того, он удостоился престижной стипендии Макауртура (в прессе ее иногда называют «наградой для гениев»). Его работы оказали глубокое влияние на сферу математики. В 1990 г. Виттен был награжден Филдсовской медалью — в мире математики эта награда не менее престижна, чем Нобелевская премия.

Большую часть времени Виттен сидит и смотрит в окно, производя в уме сложные преобразования. Его жена пишет: «Все вычисления он делает только в уме. Мне требуется заполнить выкладками несколько страниц, чтобы разобраться в вопросе. А Эдвард садится за стол, только чтобы вычислить знак минуса или степень двойки»³. Виттен говорит: «Большинство людей, не сведущих в физике, вероятно, считают, что физики занимаются преимущественно сложными расчетами, но суть их работы на самом деле не в этом. А в том, что физика — это прежде всего концепции, желание понимать идеи, принципы устройства мира»⁴.

Очередной проект Виттена стал самым масштабным и дерзким в его карьере. Новая теория суперструн вызвала в мире физики сенсацию, претендуя на звание теории, способной объединить эйнштейновскую гравитацию с квантовой теорией. Однако Виттена не устраивает нынешняя формулировка теории суперструн. Он поставил перед собой задачу найти истоки теории суперструн, что, возможно, приблизит нас

к объяснению момента сотворения. Ключевая особенность этой теории, фактор, придающей ей эффективность и уникальность, — необычная геометрия: струны способны само-согласованно колебаться только в 10 и 26 измерениях.

Что такое частица?

Суть теории струн в том, что она может объяснить природу и материи, и пространства-времени, т. е. природу и «дерева», и «мрамора». Теория струн дает ответы на ряд головоломных вопросов о частицах: например, почему в природе их так много. Чем глубже мы проникаем в мир субатомных частиц, тем больше частиц находим. В нынешнем субатомном «зоопарке» насчитывается несколько сотен частиц, описание их свойств занимает целые тома. Даже Стандартная модель дала нам ошеломляющее количество «элементарных частиц». Теория струн отвечает на этот вопрос, так как струна, которая в 100 квинтиллионов раз меньше протона, совершает колебания, а каждый тип колебаний порождает определенный резонанс или частицу. Струна настолько мала, что резонанс струны и частица почти неразличимы. Только если каким-нибудь способом увеличить частицу, можно увидеть, что это вовсе не точка, а тип колебания струны.

В этой картине каждая субатомная частица соответствует определенному резонансу, возникающему при конкретной частоте. Понятие резонанса знакомо нам в повседневной жизни. Для примера вспомним пение под душем. Даже если от природы нам достался слабый, глуховатый, дрожащий голос, все мы знаем, как легко почувствовать себя звездой оперной сцены в уединенной обстановке душевой кабинки. Это происходит потому, что волны звуков, которые мы издаем, быстро наталкиваются на стены кабинки и отражаются от них. Колебания, без труда вписывающиеся в пространство между стенами, многократно усиливаются и дают резонирующие звуки. Определенные колебания вызывают резонанс,

а остальные, волны которых имеют неподходящий размер, гасятся.

Или же представим себе скрипичную струну, способную вибрировать с разными частотами, издавая звуки, соответствующие нотам ля, си и до. Струна издает вибрации, которые гаснут по мере приближения к ее концам (так как струна закреплена с обоих концов), и совершают целое число колебаний между ними. В принципе струна может вибрировать с любой частотой из бесконечного множества. Нам известно, что ноты сами по себе — не принципиальны. Нота ля не более существенна, чем нота си. Главное — это сама струна. Незачем изучать каждую ноту отдельно от остальных. Зная, как вибрирует струна скрипки, мы сразу понимаем свойства бесконечного множества музыкальных нот.

Так и частицы Вселенной сами по себе не фундаментальны. Электрон не более фундаментален, чем нейтрино. Они кажутся фундаментальными только потому, что нашим микроскопам недостает мощности для выявления структуры этих частиц. Согласно теории струн, если мы каким-то образом увеличим точечную частицу, то увидим маленькую вибрирующую струну. В сущности, эта теория гласит, что материя — не что иное, как гармонии, созданные колеблющейся струной. Поскольку количество гармоний, которые можно составить для скрипки, бесконечно, из вибрирующих струн образуется бесконечное множество форм материи. Этим объясняется обилие частиц в природе. Законы физики можно сравнить с законами гармонии применительно к струне. А саму вселенную, состоящую из бесчисленного множества колеблющихся струн, уподобить симфонии.

Теория струн может объяснить природу не только частиц, но и пространства-времени. Перемещаясь в пространстве-времени, струна совершает сложную последовательность движений. Струна может распасться на более мелкие струны или столкнуться с другими и образовать длинную струну. Ключевой момент в том, что все квантовые поправки или петлевые схемы конечны и поддаются вычислениям. Это первая квантовая теория гравитации в истории физики, дающая конечные

квантовые поправки. (Как мы помним, все предшествующие теории, в том числе изначальная теория Эйнштейна, концепция Калуцы–Клейна и теория супергравитации, не удовлетворяли этому основному критерию.)

Для того чтобы осуществлять сложные перемещения, струна должна подчиняться целому ряду условий самосогласованности. Условия самосогласованности настолько жестки, что налагают чрезвычайно строгие ограничения на пространство-время. Другими словами, струна не в состоянии самосогласованно перемещаться в любом произвольном пространстве-времени, подобно точечной частице.

Когда ограничения, которые струна налагает на пространство-время, были впервые определены, потрясенные физики увидели, как из уравнений струнной теории возникли уравнения Эйнштейна. Это было поразительно: физики обнаружили, как без каких-либо допущений, связанных с уравнениями Эйнштейна, эти же самые уравнения, как по волшебству, появляются из теории струн. Оказалось, что и уравнения Эйнштейна нельзя считать фундаментальными, если их можно вывести из теории струн.

Если теория струн верна, значит, она дает ответ на давнюю загадку о природе «дерева» и «мрамора». Эйнштейн полагал, что когда-нибудь один только «мрамор» объяснит все свойства «дерева». Для Эйнштейна «дерево» оставалось всего лишь изъяном или вибрацией пространства-времени — не больше и не меньше. Однако специалисты в области квантовой физики придерживались прямо противоположного мнения. Они считали, что «мрамор» можно превратить в «дерево», т. е. метрический тензор Эйнштейна можно преобразовать в гравитон, дискретную порцию энергии, переносящей силу гравитации. Эти точки зрения диаметрально противоположны, долгое время компромисс между ними считался недостижимым. А оказалось, что струнная теория и есть то самое «недостающее звено» между «деревом» и «мрамором».

Теория струн может определять частицы материи как резонансные колебания струны. Кроме того, из теории струн можно

вывести уравнения Эйнштейна при условии самосогласованного движения струны в пространстве-времени. Таким образом, мы располагаем всеобъемлющей теорией и материи-энергии, и пространства-времени.

Ограничения самосогласованности на удивление строги. К примеру, они запрещают струне перемещаться в трех или четырех измерениях. Далее мы убедимся, что условия самосогласованности вынуждают струну перемещаться в конкретном количестве измерений. По сути дела, единственные «магические числа», которые допускает теория струн, — 10 и 26 измерений. К счастью, теории струн, определенной для этих измерений, хватает для объединения всех основных взаимодействий.

Следовательно, теории струн достаточно для объяснения всех фундаментальных законов природы. Начав с простой теории вибрирующей струны, можно вывести теорию Эйнштейна, теории Калуцы–Клейна и супергравитации, Стандартную модель и даже теорию Великого объединения. Возможность заново вывести все достижения физики последних двух тысячелетий из чисто геометрических доводов теории струн кажется настоящим чудом. Все теории, до сих пор рассматривавшиеся в этой книге, автоматически включены в теорию струн.

Нынешний интерес к теории струн начался с работы Джона Шварца из Калифорнийского технологического института и его соавтора Майкла Грина из лондонского Колледжа королевы Марии. Прежде считалось, что у концепции струн есть недостатки, препятствующие разработке полноценной самосогласованной теории. Но в 1984 г. эти два физика доказали, что струна отвечает всем условиям самосогласованности. В итоге молодые ученые наперегонки бросились решать задачи, связанные с этой теорией, в надежде заслужить признание. К концу 1980-х гг. в кругу физиков началась настоящая «золотая лихорадка». (Конкуренция между сотнями самых талантливых физиков-теоретиков мира, которые занимаются этими вопросами, резко обострилась. Недавно на обложку журнала *Discovery* был помещен

портрет специалиста в области теории струн Димитриса Нанопулоса из Техаса. Ученый открыто заявлял о своих притязаниях на Нобелевскую премию по физике. Редко подобные страсти вспыхивают из-за абстрактной теории.)

Почему именно струны?

Однажды мы с одним нобелевским лауреатом в области физики обедали в китайском ресторане Нью-Йорка. За кисло-сладкой свининой в разговоре всплыла тема теории суперструн. Внезапно мой собеседник пустился в пространные рассуждения о том, почему теория суперструн — ошибочный путь. Это погоня за химерами, утверждал он. В истории физики никогда не было ничего подобного, идея чересчур сумасбродна, на его взгляд. Она слишком чужда и ортогональна всем предшествующим тенденциям в науке. Длительный спор свелся к единственному вопросу: почему именно струны? Почему не вибрирующие твердые тела или сгустки?

Мой собеседник напомнил, что в мире физики вновь и вновь используются одни и те же концепции. Природа, подобно произведениям Баха или Бетховена, часто начинает с основной темы, а затем на протяжении всей симфонии повторяет ее бесчисленные вариации. Согласно этому критерию теория струн не является основополагающей для природы.

К примеру, концепция орбит дает о себе знать в природе постоянно и в разных формах: со времен появления трудов Коперника орбиты служат лейтмотивом, который постоянно встречается в природе в различных вариантах — от самой большой галактики до атома и мельчайшей субатомной частицы. Аналогично излюбленная тема в природе — поля Фарадея. Поля пригодны для описания магнетизма галактики и гравитации, а также для электромагнитной теории Максвелла, метрической теории Римана и Эйнштейна, полей Янга–Миллса, входящих в Стандартную модель. По сути дела, теория поля развилась как универсальный язык субатомной физики,

а может, и всей Вселенной. Это самое мощное оружие в арсенале теоретической физики. Все известные формы материи и энергии выражены в показателях теории поля. Закономерности повторяются постоянно, как тема и ее вариации в симфонии.

А струны? Струны вовсе не выглядят структурой, которой природа отдает предпочтение в соответствии с высшим замыслом. Мы не видим струн в космосе. Как объяснил мой коллега, струн мы вообще нигде не видим.

Но, если задуматься, станет ясно, что природа отвела струнам особую роль, как основному строительному материалу для других форм. К примеру, характерная особенность жизни на Земле — струновидная молекула ДНК, содержащая сложную информацию и код самой жизни. Когда возникает вопрос о строительстве всего живого, а также материи на субатомном уровне, струны выглядят идеальным ответом. И в том и в другом случае нам требуется уложить большой объем информации в сравнительно простую и воспроизводимую структуру. Отличительная особенность струны в том, что это одно из самых компактных хранилищ для больших объемов информации, предназначенной для воспроизведения.

Для живых существ природа предназначила двойные цепочки молекулы ДНК, которые могут раскручиваться и образовывать дубликаты друг друга. Кроме того, у нас в организме содержатся миллиарды миллиардов белковых цепочек, образованных аминокислотами как строительным материалом. В каком-то смысле наши тела можно рассматривать как богатейшие коллекции цепочек — молекул протеина, окружающих наши кости.

«Струнный квартет»

В настоящее время самой удачной версией теории струн считается концепция четырех физиков из Принстона — Дэвида Гросса, Эмиля Мартинеса, Джеффри Харви и Райана Рома,

которых иногда называют «принстонский струнный квартет». Самый старший из них Дэвид Гросс. Вопросы, которые Виттен задает на семинарах в Принстоне тихим голосом, можно и не услышать, зато громкий, гулкий и требовательный голос Гросса слышен отчетливо. Всякий, кто проводит семинары в Принстоне, как огня боится острых вопросов, которыми сыплет Гросс. Примечательно, что обычно все они попадают в цель. Гросс и его соавторы предложили так называемую *гетеротическую струну*. Сегодня из всех вариантов теории Калуцы–Клейна, предложенных в прошлом, именно она с наибольшей вероятностью способна объединить все законы природы в одну теорию.

Гросс убежден, что теория струн решает задачу превращения «дерева» в «мрамор»: «Создание материи из геометрии — в каком-то смысле именно этим и занимается струнная теория. Ее можно воспринимать как таковую, особенно гетеротическую струну — по сути дела, теорию гравитации, в которой частицы материи, а также взаимодействия природы возникают так же, как гравитация возникает из геометрии»⁵.

Как мы уже подчеркнули, наиболее примечательная особенность теории струн состоит в том, что в нее автоматически входит теория гравитации Эйнштейна. В сущности, гравитон (квант гравитации) возникает как наименьшая вибрация замкнутой струны. Если теории Великого объединения упорно избегают любых упоминаний о теории гравитации Эйнштейна, то теория суперструн требует включения этой эйнштейновской теории. К примеру, если мы откажемся рассматривать теорию гравитации Эйнштейна как своего рода вибрацию струны, тогда эта теория станет непоследовательной и бесполезной. Именно по этой причине Виттен заинтересовался теорией струн. В 1982 г. он прочел обзорную статью Джона Шварца и был поражен, когда понял, что гравитация вытекает из теории суперструн уже в силу требования самосогласованности. Он вспоминал, что за всю жизнь не испытывал «более сильного интеллектуального трепета». Виттен говорит: «Теория струн на редкость притягательна, так как мы вынуж-

дены иметь дело с гравитацией. Во все известные и последовательные теории струн входит гравитация, так что если в квантовой теории поля в том виде, в каком она нам сейчас известна, гравитация невозможна, в теории струн она обязательна»⁶.

Гроссу хочется верить, что, если бы Эйнштейн был жив, он оценил бы теорию суперструн. Ему понравилось бы, что красота и простота теории суперструн в конечном итоге исходят из геометрического принципа, точная природа которого до сих пор неизвестна. Гросс утверждает: «Эйнштейн был бы доволен по меньшей мере целью, если не ее реализацией... Ему понравилось бы, что в основе лежит геометрический принцип, которого, к сожалению, мы не понимаем»⁷.

Виттен даже рискует заявлять, что «все по-настоящему великие идеи в физике» — «побочные продукты» теории суперструн. Он имеет в виду, что в теорию суперструн укладываются все крупные достижения теоретической физики. И даже утверждает, что открытие Эйнштейном общей теории относительности раньше теории суперструн — «просто случайное событие в развитии планеты Земля». По мнению Виттена, где-то в космосе «другие цивилизации Вселенной» вполне могли открыть теорию суперструн первой, а из нее вывести общую теорию относительности⁸.

Компактификация и красота

На теорию струн в физике возлагают столько надежд по той причине, что она дает простые объяснения истоков симметрии, присутствующей и в физике частиц, и в общей теории относительности.

В главе 6 мы видели, что супергравитация неперенормируема и слишком мала, чтобы вместить симметрию Стандартной модели. Таким образом, она не самосогласованна и не дает реалистичного описания известных частиц. И тем и другим свойством обладает теория струн. Как мы вскоре убедимся, она решает проблему бесконечных величин, обнаруженную

в квантовой теории гравитации, и дает конечную теорию квантовой гравитации. Уже за одно это теорию струн следует считать серьезной претенденткой на звание теории Вселенной. Но у нее есть и дополнительное преимущество. Если компактифицировать некоторые измерения теории струн, выяснится, что она соотносима с симметрией Стандартной модели и даже теориями Великого объединения.

Гетеротическая струна представляет собой замкнутую струну, для которой характерны два типа вибраций — по часовой и против часовой стрелки, — которые рассматриваются отдельно. Колебания по часовой стрелке существуют в 10-мерном пространстве, колебания против часовой стрелки — в 26-мерном пространстве, в котором 16 измерений компактифицированы. (Как мы помним, в исходной пятимерной теории Калуцы пятое измерение компактифицировали, свернув его в круг.) Своим названием гетеротическая струна обязана тому факту, что колебания по часовой стрелке и против нее существуют в двух разных измерениях, но в сочетании дают единую теорию суперструн. Вот почему ее название происходит от греческого слова *гетерозис*, означающего «гибридная сила».

Гораздо больший интерес представляет 16-мерное компактифицированное пространство. Как мы помним, в теории Калуцы–Клейна с компактифицированным N -мерным пространством ассоциируются симметрии, почти как в случае с пляжным мячом. Значит, все колебания (или поля), определенные для N -мерного пространства, автоматически наследуют эти симметрии. Если это симметрия $SU(N)$, тогда все вибрации в пространстве должны подчиняться симметрии $SU(N)$ (так же, как глина наследует симметрии литьевой формы). Таким образом, теория Калуцы–Клейна может вмещать симметрии Стандартной модели. Вместе с тем можно установить, что супергравитация «слишком мала», чтобы содержать все частицы симметрий, относящихся к Стандартной модели. Этого достаточно, чтобы развенчать теорию супергравитации как реалистичную теорию материи и пространства-времени.

Но когда «принстонский струнный квартет» проанализировал симметрии 16-мерного пространства, то обнаружил, что они представляют собой чудовищно огромную симметрию, названную $E(8) \times E(8)$ и значительно превосходящую все предлагавшиеся ранее симметрии теорий Великого объединения⁹. Такого преимущества никто не предвидел. Оно означало, что все колебания струны будут наследовать симметрию 16-мерного пространства, которого более чем достаточно, чтобы вместить симметрию Стандартной модели.

В этом и заключается записанное математически выражение центральной темы данной книги: законы физики в высших измерениях упрощаются. В данном случае 26-мерное пространство вибраций, направленных против часовой стрелки и совершаемых гетеротической струной, дает предостаточно возможностей для объяснения всех симметрий, содержащихся в теории Эйнштейна, и в квантовой теории. Так впервые геометрия в чистом виде дала простое объяснение причин, по которым субатомный мир неизбежно должен демонстрировать определенные симметрии, возникающие при скручивании пространства высших измерений: *симметрии субатомного мира — не что иное, как остатки симметрии пространства высших измерений.*

Значит, красоту и симметрию, которые мы обнаруживаем в природе, можно проследить в обратном направлении до пространства высших измерений. Например, снежинки представляют собой красивые шестиугольники, среди которых нет двух совершенно одинаковых. Эти снежинки и кристаллы унаследовали свою структуру от способа геометрического расположения их молекул. Их расположение обусловлено главным образом электронными оболочками молекул, что, в свою очередь, приводит нас к вращательной симметрии квантовой теории, которую дает $O(3)$. Все симметрии низкоэнергетической Вселенной, которые мы видим в химических элементах, — результат симметрий, описанных Стандартной моделью, которая, в свою очередь, может быть выведена путем компактификации гетеротической струны.

В заключение скажем, что примеры симметрии, которые мы видим вокруг — от радуги до цветочных бутонов и кристаллов, — можно в конечном счете рассматривать как проявления фрагментов изначальной десятимерной теории¹⁰. Риман и Эйнштейн надеялись объяснить геометрическими средствами, почему взаимодействие может определять движение и природу материи. Однако они упустили из виду ключевой ингредиент взаимоотношений между «деревом» и «мрамором». Это недостающее звено — почти наверняка теория суперструн. На примере десятимерной теории струн мы видим, что геометрия струны может в конечном итоге обуславливать и взаимодействия, и структуру материи.

Фрагмент физики XXI в.

Учитывая колоссальную мощь симметрий теории суперструн неудивительно, что эта теория кардинально отличается от любой другой, относящейся к физике. Она была открыта, в сущности, случайно. Многие физики отмечали: если бы не эта счастливая случайность, то теорию суперструн открыли бы лишь в XXI в. Дело в том, что она представляет собой решительное отступление от всех идей, предложенных в XX в. Теория суперструн — не экстраполяция и не продолжение популярных тенденций и теорий XX в., она занимает особое положение.

В отличие от нее, общая теория относительности эволюционировала «традиционно» и последовательно. Сначала Эйнштейн сформулировал принцип эквивалентности сил гравитации и инерции. Затем он математически выразил этот принцип в гравитационной теории поля, основой которой стали поля Фарадея и метрический тензор Римана. Затем появились «классические решения», такие как черные дыры и Большой взрыв. И наконец, последний этап — современная попытка сформулировать квантовую теорию гравитации. Таким образом, общая теория относительности развивалась последова-

тельно, проходя в своем развитии этапы от физического принципа до квантовой теории:

Геометрия → Теория поля → Классическая теория →
→ Квантовая теория.

В отличие от нее, теория суперструн развивалась в *обратном* направлении с тех пор, как была случайно открыта в 1968 г. Вот почему теория суперструн кажется большинству физиков такой странной и непривычной. Мы до сих пор заняты поисками физического принципа, лежащего в основе этой теории, — аналога принципа эквивалентности Эйнштейна.

Теория струн родилась по чистой случайности, когда в 1968 г. два молодых физика-теоретика — Габриэле Венециано и Махико Судзуки — независимо друг от друга листали книги по математике в поисках математических функций, подходящих для описания сильного взаимодействия частиц. Занимаясь исследованиями в ЦЕРНе (CERN), Европейском центре теоретической физики в Женеве, Швейцария, эти ученые независимо друг от друга обратили внимание на бета-функцию Эйлера — математическую функцию, записанную в XIX в. математиком Леонардом Эйлером. Габриэле Венециано и Махико Судзуки с изумлением обнаружили, что бета-функция Эйлера обладает почти всеми свойствами, необходимыми для описания сильных взаимодействий элементарных частиц.

Однажды за обедом в Национальной лаборатории имени Лоуренса в Беркли, Калифорния, любясь живописной, озаренной солнцем панорамой гавани Сан-Франциско, Судзуки рассказал мне, какой трепет испытал, совершенно случайно сделав открытие, имеющее важные последствия. В физике не предполагается движение по такому пути.

Отыскав в математическом справочнике бета-функцию Эйлера, взволнованный Судзуки показал находку своему руководителю, одному из физиков ЦЕРНа. Тот выслушал Судзуки, но это не произвело на него сильного впечатления. И сообщил, что другой молодой физик, Венециано, нашел ту же самую

функцию несколькими неделями ранее. Руководитель отговорил Судзуки от публикации полученных результатов. Сегодня эта бета-функция, известная под названием модели Венециано, уже послужила источником вдохновения для нескольких тысяч научных статей, породила крупную школу физики, а теперь претендует на решающую роль в объединении всех физических законов. (Оглядываясь назад, можно сделать вывод, что Судзуки следовало бы все же опубликовать свои результаты. Полагаю, это урок всем нам: никогда не воспринимайте советы начальства излишне серьезно.)

В 1970 г. тайна, окружающая модель Венециано–Судзуки, была частично раскрыта, когда Ёитиро Намбу из Чикагского университета и Тэцуо Гото из Университета Нихон обнаружили, что удивительные свойства этой модели обусловлены вибрациями струны.

Поскольку теория струн была открыта в обратном порядке и вдобавок случайно, физики до сих пор не знают, какой физический принцип лежит в ее основе. Последний шаг в развитии этой теории (и первого этапа в эволюции общей теории относительности) по-прежнему не сделан.

Виттен добавляет, что «человечество планеты Земля никогда не располагало понятийным аппаратом, который привел бы его к целенаправленному созданию теории струн... Никто не изобретал ее направленно, она появилась в результате счастливой случайности. По справедливости, физикам XX в. не должна была достаться привилегия изучать эту теорию. Теорию струн не должны были открыть до тех пор, пока наши познания, необходимые для ее дальнейшего развития, не достигли уровня, позволяющего составить верное представление о том, что все это означает»¹¹.

Петли

Формула, выведенная Венециано и Судзуки, с помощью которой они надеялись описать свойства взаимодействующих

субатомных частиц, была неполной. Она не отвечала одному из важных условий физики — унитарности, или сохранению вероятности. Сама по себе формула Венециано–Судзуки давала неверные результаты относительно взаимодействия частиц. Поэтому следующим этапом эволюции теории стало внесение небольших квантовых поправок, способных придать формуле недостающее свойство. В 1969 г., еще до появления струнной интерпретации Намбу и Гото, три физика (Кейджи Киккава, Бундзи Сакита и Мигель Вирасоро, в то время работавшие в Университете Висконсина) предложили верное решение: внесение все более малых компонентов в формулу Венециано–Судзуки с целью восстановления унитарности.

Этим ученым пришлось догадываться, как восстановить всю последовательность с нуля, однако сегодня ее нетрудно понять в рамках представлений о струнах, изложенных Намбу. К примеру, путь летящего шмеля в пространстве можно изобразить извилистой линией. Когда в пространстве движется отрезок струны, его траекторию можно сравнить с воображаемым двумерным листом бумаги. Когда замкнутая струна перемещается в пространстве, ее путь напоминает туннель.

Струны взаимодействуют, разделяясь на струны меньшего размера или соединяясь с другими струнами. Когда эти взаимодействующие струны перемещаются, они вычерчивают фигуры, показанные на рис. 7.1. Обратите внимание: две трубы появляются слева, одна делится пополам, заменяет среднюю и отклоняется вправо. Так трубы взаимодействуют друг с другом. Конечно, эта схема — всего лишь наглядное представление чрезвычайно сложных математических выкладок. При расчете численного выражения, соответствующего этим схемам, мы вернемся к бета-функции Эйлера.

В этой струнной модели ключевой прием, предложенный Киккава, Сакита и Вирасоро (КСВ), сводился к добавлению *всех возможных схем* столкновения и распада струн. Разумеется, таких схем может быть бесчисленное множество. Процесс добавления бесконечного количества «петлевых схем», при котором каждая схема служит приближением к конечному

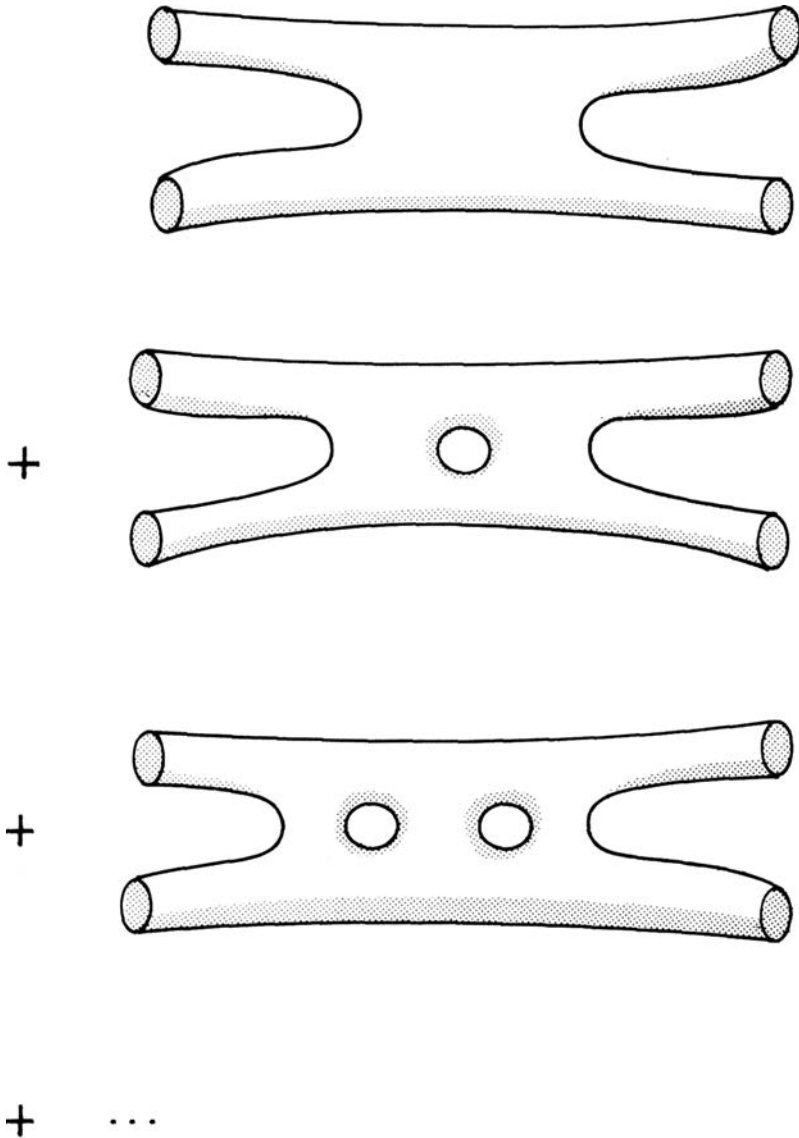


Рис. 7.1. В теории струн сила гравитации представлена как взаимодействие замкнутых струн, которые в пространстве-времени прокладывают туннель. Даже при добавлении бесконечного ряда схем с огромным количеством отверстий бесконечности в теории не появятся, в итоге мы получим конечную теорию квантовой гравитации

ответу, — это теория возмущений и один из самых эффективных видов оружия в арсенале любого специалиста по квантовой механике. (Этим струнным схемам присуща прекрасная симметрия, ранее никогда не виданная в физике и названная *конформной симметрией* в двух измерениях. Конформная симметрия позволяет нам рассматривать трубы и листы так, словно они сделаны из резины: схемы можно перетаскивать, растягивать, сгибать, сжимать. Благодаря конформной симметрии мы можем доказать, что все математические выражения остаются неизменными.)

КСВ утверждали, что совокупность всех петлевых схем дает точную математическую формулу, объясняющую, как именно взаимодействуют субатомные частицы. Однако модель КСВ представляла собой ряд недоказанных предположений. Кто-то должен был построить эти петли в явном виде, чтобы эти предположения не оказались бесполезными.

Заинтригованный моделью, начало которой положили КСВ, я решил попытать удачу и заняться этой проблемой. Сделать это оказалось непросто, так как в то время я в буквальном смысле слова уворачивался от пулеметных очередей.

Учебный лагерь

Я хорошо помню, как в 1969 г. была опубликована статья КСВ. Ее авторы скорее намечали программу дальнейшей работы, чем вдавались в подробности. И я решил вычислить в явном виде все возможные петли и закончить модель КСВ.

То были незабываемые времена. За океаном свирепствовала война, не прекращались беспорядки в кампусах всего мира — от Кентского до Парижского университетов. Я окончил Гарвард годом ранее, когда президент Линдон Джонсон отменил отсрочки от призыва для аспирантов, чем поверг в панику высшие учебные заведения страны. В кампусах воцарился хаос. Внезапно мои друзья побросали учебу, занялись преподаванием в школе, собрали вещи и устремились в Канаду

либо пытались повредить своему здоровью, чтобы не пройти призывную комиссию.

Карьерные перспективы разбивались вдребезги. Один из моих близких друзей-физиков из Массачусетского технологического института поклялся, что лучше сядет в тюрьму, чем пойдет воевать во Вьетнаме. Он просил нас посылать ему в тюрьму новые номера *Physical Review*, чтобы он мог следить, как продвигается работа над моделью Венециано. Другие мои знакомые ушли из колледжей преподавать в старших классах школы, лишь бы избежать участия в войне, и тем самым положили конец многообещающим научным карьерам. (Многие из них преподают в школах до сих пор.)

Через три дня после выпуска я покинул Кембридж и очутился на военной базе в Форт-Беннинге, Джорджия, — самом большом в мире учебном лагере пехоты, а позднее — в Форт-Льюисе, Вашингтон. Из десятков тысяч необученных новобранцев, не имеющих никакого опыта военной службы, наскоро сколачивали боевые соединения и отправляли их во Вьетнам, на замену 500 еженедельно гибнущим «джи-ай».

Однажды днем, бросая боевые гранаты под палящим солнцем Джорджии и глядя, как смертоносные осколки разлетаются во все стороны, я вдруг задумался. Сколько ученых своими глазами увидело ужасы войны? Сколько подающих надежды исследователей было сражено пулями в расцвете лет?

Я вспомнил Карла Шварцшильда, который умирал в кайзеровской армии на русском фронте во время Первой мировой войны через несколько месяцев после того, как он нашел основное решение уравнений Эйнштейна, применяемых во всех расчетах, связанных с черными дырами. (В его честь назван радиус Шварцшильда. В 1916 г., после пребывания Шварцшильда на передовой и его безвременной кончины, Эйнштейн обратился к Прусской академии с просьбой увековечить труды покойного.) Сколько еще перспективных ученых погибло еще до того, как началась их карьера?

Я понимал, что боевая подготовка пехоты — это не шутки: она призвана укрепить боевой дух и ослабить интеллект. Вдо-

бавок из будущих пехотинцев выбивают независимость мышления. Армии не нужны умники, сомневающиеся в правильности приказов сержанта в разгар перестрелки. Зная об этом заранее, я решил взять с собой в лагерь материалы по физике. Во время кухонных нарядов и чистки картошки или стрельбы из пулемета мне требовалось занять чем-то мозг. И я взял с собой статью КСВ.

Во время ночных учений мне пришлось преодолевать полосу препятствий, а значит, уворачиваться от пулеметных очередей, по-пластунски пробираться под колючей проволокой и ползать в вязкой бурой грязи. Пули были трассирующими, поэтому я видел тысячи красивых багровых линий, пролетающих в нескольких футах от моей головы. Но мыслями я неизменно возвращался к статье КСВ, к возможности осуществить их программу.

К счастью, особенностью представленных вычислений была строгая топологичность. Мне стало ясно, что все эти петли — совершенно новый язык физики, язык топологии. Никогда прежде в истории физики ленты Мебиуса и бутылки Клейна не использовались для фундаментальных целей.

Поскольку во время стрельбы из пулемета мне редко удавалось держать под рукой бумагу и карандаш, пришлось рисовать в голове картины, как струны образуют петли и выворачиваются наизнанку. По сути дела, учебные стрельбы принесли немало пользы, приучив меня оперировать большими группами уравнений в уме. К тому времени, как я завершил интенсивный курс стрелковой подготовки, я уже не сомневался, что сумею выполнить вычисления для всех петель.

И наконец, я ухитрился выкроить время в промежутках между учениями и ездил в Калифорнийский университет в Беркли, где яростно прорабатывал детали преобразований, производимых мысленно. Этому вопросу я посвятил несколько сотен часов напряженного обдумывания. Он и стал темой моей диссертации.

К 1970 г. последние вычисления до отказа заполнили несколько сотен страниц блокнота. Под неусыпным надзо-

ром моего научного руководителя Стэнли Манделстама мы с коллегой Лопин Юй успешно рассчитали явное выражение для всех возможных петельных диаграмм, известных на тот момент. Но проделанная работа меня не устраивала. Программа КСВ представляла собой смесь эмпирических правил и интуитивных предположений, а не набор основных принципов вычислений для петель. Как мы уже видели, с тех пор как теория струн была случайно открыта Венециано и Судзуки, ее развитие шло в обратной последовательности. Следующим этапом обратной эволюции теории струн было шествие по стопам Фарадея, Римана, Максвелла и Эйнштейна и построение *струнной теории поля*.

Струнная теория поля

Со времен новаторского труда Фарадея все физические теории записывались в виде полей. На теории поля основана максвелловская теория света, как и теория Эйнштейна. По сути дела, вся физика частиц опирается на теорию поля. *Не* основана на ней только теория струн. Программа КСВ представляла собой скорее список удобных правил, нежели теорию поля.

Моей следующей задачей было исправить это положение. Однако проблемой струнной теории поля оставалось ее неприятие многими видными учеными. Их доводы выглядели просто. Такие титаны физики, как Хидеки Юкава и Вернер Гейзенберг, долгие годы разрабатывали теорию поля, не опирающуюся на точечные частицы. Они считали элементарные частицы скорее пульсирующими сгустками материи, чем точками. Но, несмотря на все их старания, теории поля, основанные на идее сгустков, неизменно противоречили принципу причинности.

Если вызвать колебания сгустка в одной точке, взаимодействия распространятся быстрее скорости света, проникающего сквозь сгусток, что противоречит специальной теории относительности и создает всевозможные временные пара-

доксы. Таким образом, «нелокальные теории поля», основанные на идее сгустков, считались непосильной задачей. Многие физики утверждали, что лишь локальная теория поля, построенная на концепции точечных частиц, может быть последовательной. А нелокальные теории поля неизбежно противоречат теории относительности.

Второй довод выглядел еще убедительнее. Модель Венециано обладала множеством чудесных свойств (в том числе так называемой *дуальностью*), прежде никогда не виданных в теории поля. Несколькими годами ранее Ричард Фейнман изложил «правила», которым должна подчиняться любая теория поля. Однако правила Фейнмана представляли собой прямое нарушение принципа дуальности. В итоге многие специалисты по теории струн пришли к убеждению, что струнная теория поля невозможна по той причине, что она неизбежно нарушает свойства модели Венециано. Они утверждали, что теория струн занимает особое положение в физике, поскольку ее нельзя преобразовать в теорию поля.

Над этой сложной, но важной задачей я работал вместе с Кейдзи Киккава. Шаг за шагом мы разрабатывали свою теорию поля, точно так же, как наши предшественники строили теории поля для других взаимодействий. По примеру Фарадея мы вводили поле в каждой точке пространства-времени. Но для струнной теории поля нам пришлось обобщать концепцию Фарадея и принять поле, определенное для всех возможных конфигураций струны, колеблющейся в пространстве-времени.

На втором этапе требовалось составить уравнения поля, которым подчиняется струна. С уравнением поля для одной струны, перемещающейся в пространстве-времени, проблем не было. Как и следовало ожидать, наши уравнения поля дали бесконечный ряд струнных резонансов, каждый соответствовал некой субатомной частице. Затем мы обнаружили, что на возражения Юкавы и Гейзенберга можно было ответить с помощью струнной теории поля. Когда мы вызывали колебания струны, они распространялись по струне со скоростью меньшей, чем скорость света.

Но скоро мы зашли в тупик. При попытке ввести взаимодействующие струны мы не могли корректно воспроизвести амплитуду Венециано. Дуальность и счет кривых, приведенный Фейнманом для любой теории поля, находились в состоянии прямого конфликта. Как и полагали критики, некорректными оказались диаграммы Фейнмана. Этот результат обескураживал. Все говорило о том, что теория поля, последний век служившая фундаментом для физики, принципиально несовместима с теорией струн.

Помню, как я, разочарованный, до поздней ночи ломал голову над этой задачей. Несколько часов подряд я методично проверял возможные альтернативные решения. И неизменно приходил к выводу, что они противоречат дуальности. Тогда я вспомнил слова Шерлока Холмса, обращенные к Ватсону в повести Артура Конан Дойля «Знак четырех»: «Сколько раз я говорил вам: если отбросить невозможное, то, что останется, пусть даже *самое невероятное*, и будет истиной». Ободренный этой мыслью, я отбросил все невозможные альтернативы. Оставалось одно невероятное решение: игнорировать свойства формулы Венециано–Судзуки. Часа в три ночи меня вдруг осенило. Я понял, что физики упустили из виду очевидное решение: формулу Венециано–Судзуки можно разделить на две части. Тогда каждая часть соответствует одной из диаграмм Фейнмана, каждая часть опровергает дуальность, но *итог* соответствует свойствам теории поля.

Я поспешно взял бумагу и погрузился в расчеты. Следующие пять часов я провел проверяя и перепроверя вычисления по всем возможным направлениям. Вывод оказался однозначным: теория поля действительно опровергает дуальность, как и следовало ожидать, тем не менее она приемлема, так как в конечном итоге воспроизводит формулу Венециано–Судзуки.

Задача была почти решена. Оставалась лишь одна диаграмма Фейнмана, соответствующая столкновению четырех струн. В том году я читал вводный курс электричества и магнетизма студентам Городского университета Нью-Йорка, и мы с ними

изучали силовые линии Фарадея. Я предлагал студентам нарисовать силовые линии вокруг зарядов различной конфигурации, повторяя действия, которые первым проделал Фарадей в XIX в. Внезапно до меня дошло: волнистые линии, которые я просил нарисовать студентов, имеют ту же топологическую структуру, что и столкновение струн. Таким образом, рассматривая заряды в студенческой лаборатории, я нашел точную конфигурацию для столкновения четырех струн.

Неужели все так просто?

Я поспешил домой, чтобы проверить свою догадку, и убедился, что прав. Применяя метод наглядных изображений, доступный даже студенту-первокурснику, я мог продемонстрировать, что взаимодействие четырех струн скрывается в формуле Венециано. К зиме 1974 г. мы с Киккава, пользуясь методами, восходящими еще к временам Фарадея, закончили разработку струнной теории поля — первой удачной попытки сочетать теорию струн с математическим аппаратом теории поля.

Наша теория поля была далека от совершенства, хотя точно воспроизводила всю информацию, относящуюся к теории струн. Поскольку мы строили теорию поля, двигаясь в обратном порядке, многие симметрии остались неопределенными. К примеру, симметрии специальной теории относительности присутствовали, но в неявном виде. Требовалось поработать, чтобы упростить найденные нами уравнения поля. Но, едва мы начали исследовать свойства нашей теории поля, в модели вдруг обнаружился серьезный изъян.

В том году физик Клод Лавлейс из Университета Раджерса выяснил, что бозонная струна (описывающая целочисленные спины) самосогласована только в 26 измерениях. Другие ученые подтвердили этот результат и продемонстрировали, что суперструна (описывающая и целочисленные, и половинные спины) самосогласована только в десяти измерениях. Вскоре выяснилось, что в других количествах измерений, отличных от 10 и 26, теория полностью теряет все свои прекрасные математические свойства. Но никто не верил,

что теория, определенная для 10 или 26 измерений, имеет хоть какое-нибудь отношение к действительности. Исследования теории струн внезапно замерли. Подобно теории Калуцы–Клейна, теория струн впала в глубокий анабиоз. На десять долгих лет эта модель оказалась прочно забытой. (Большинство ученых, и я в том числе, бросили эту модель, словно тонущий корабль, однако несколько упрямцев, таких как физики Джон Шварц и покойный Жоэль Шерк, пытались удержать ее на плаву и продолжали неуклонно совершенствовать. К примеру, первоначально струнная теория считалась применимой лишь к сильным взаимодействиям с режимами колебаний, соответствующими резонансу кварковой модели. Шварц и Шерк убедительно доказали, что струнная модель действительно является объединяющей теорией для всех взаимодействий, а не только для сильных.)

Исследования в области квантовой гравитации двинулись в другом направлении. В 1974–1984 гг., пока теория струн пребывала в забвении, исследование ряда альтернативных теорий квантовой гравитации с успехом продолжалось. В этот период исходная теория Калуцы–Клейна, а затем и теория супергравитации пользовались огромной популярностью, но со временем изъяны данных моделей тоже стали очевидными. К примеру, было доказано, что и теория Калуцы–Клейна, и теория супергравитации неперенормируемы.

А затем в том же десятилетии произошло нечто странное. С одной стороны, физиков начал раздражать растущий список моделей, опробованных и отвергнутых за этот период. Одну за другой их признавали неудачными. Постепенно становилось ясно, что теории Калуцы–Клейна и супергравитации в принципе указывают верный путь, но сами по себе недостаточно совершенны, чтобы разрешить проблему неперенормируемости. И единственной теорией, достаточно сложной, чтобы охватить и теорию Калуцы–Клейна, и теорию супергравитации, оставалась теория суперструн. С другой стороны, физики постепенно привыкали работать с гиперпространством. Благодаря возрождению теории Калуцы–Клейна

идея гиперпространства теперь уже не казалась надуманной или запретной. Со временем даже теория, определенная в 26 измерениях, перестала выглядеть чем-то из ряда вон выходящим. Изначальное сопротивление этим 26 измерениям со временем сошло на нет.

И наконец, когда в 1984 г. Грин и Шварц доказали, что теория суперструн — единственная самосогласованная теория квантовой гравитации, начался бум. В 1985 г. Эдвард Виттен добился значительного прогресса в струнной теории поля, которую многие считают одним из прекраснейших достижений теоретической физики. Он доказал, что наша давняя теория поля может быть выведена с применением эффективных математических и геометрических теорем (заимствованных из так называемой *теории гомологии*) в полностью релятивистской форме.

Благодаря новой теории Виттена открылась истинная математическая элегантность струнной теории поля, которой не было видно за нашими формулами. Сразу же появились сотни научных статей, в которых рассматривались поразительные математические свойства теории поля Виттена¹².

Нашего интеллекта недостаточно

При условии, что струнная теория поля верна, в принципе у нас должна была появиться возможность вычислить массу протона, исходя из первых принципов, а также установить связь с известными данными, например с массами различных частиц. Если численные ответы ошибочны, значит, теорию придется отвергнуть. Но если теория верна, можно причислить ее к величайшим достижениям физики за последние две тысячи лет.

После эйфории конца 1980-х гг. (когда казалось, что еще несколько лет и теория будет разработана полностью, а Нобелевские премии начнут раздавать десятками), ей на смену пришел трезвый реализм. Несмотря на математиче-

скую определенность теории, никому не удастся завершить ее. Никому!

Проблема в том, что *нет человека, достаточно умного, чтобы разрешить противоречия струнной теории поля* или применить какой-нибудь другой непertурбативный подход к теории струн. Суть задачи ясна, но парадокс в том, что поиски решения для теории поля требуют такого подхода, который в настоящее время неподвластен ни одному физическому. Это досадно. Перед нами — хорошо структурированная теория струн. В ней кроется возможность устранить все противоречия, относящиеся к многомерному пространству. До исполнения мечты о вычислении от первоначал — рукой подать. Вопрос в том, как решать эту задачу. Невольно вспоминается реплика из шекспировского «Юлия Цезаря»: «Не звезды, милый Брут, а сами мы виновны». С точки зрения приверженца теории струн, виновата не теория, а наша примитивная математика.

Причина пессимизма — в том, что наш основной вычислительный инструмент, теория возмущений, дает сбой. Теория возмущений начинается с формулы, подобной формуле Венециано, и продолжается вычислениями квантовых поправок к ней (имеющих петлевую форму). Специалисты по теории струн надеялись, что смогут записать более совершенное выражение наподобие формулы Венециано, определенное для четырех измерений, которое однозначно опишет весь известный спектр частиц. Оглядываясь назад, можно сделать вывод, что им сопутствовал чрезмерный успех. Беда в том, что к настоящему времени открыто несметное множество формул, подобных формуле Венециано. Стыдно признаться, но специалисты по теории струн в буквальном смысле слова тонут в таких пертурбативных решениях.

Причина, по которой теория суперструн за последние несколько лет почти не продвинулась вперед, — в том, что никто не знает, как выбрать верное решение из миллионов обнаруженных. Некоторые из них поразительно близки к описанию реального мира. При незначительных допущениях

легко рассматривать Стандартную модель как своего рода колебания струны. Несколько групп ученых уже объявили, что нашли решения, которые согласуются с известными данными по субатомным частицам.

Как мы видим, проблема в том, что существуют миллионы других решений, описывающих миры, не имеющие никакого сходства с нашей Вселенной. В некоторых из этих решений во Вселенной либо нет кварков, либо этих кварков слишком много. Такая жизнь, какую мы знаем, в большинстве решений не существует. Наша Вселенная может оказаться затерянной среди миллионов возможных вселенных, обнаруженных с помощью теории струн. Для того чтобы найти верное решение, нам приходится обращаться к непертурбативным методам, печально известным своей сложностью. Поскольку 99% наших знаний о физике высоких энергий основано на теории возмущений, это означает, что мы понятия не имеем, как искать истинное решение для теории.

Но есть основания и для оптимизма. Непертурбативные решения, найденные для гораздо более простых теорий, свидетельствуют о том, что многие из этих решений в действительности нестабильны. Со временем эти некорректные и нестабильные решения совершают качественный скачок и становятся корректными и стабильными. Если это справедливо и для теории струн, тогда, возможно, миллионы найденных и в настоящее время нестабильных решений со временем преобразуются в корректные.

Для того чтобы понять, какую досаду испытываем мы, физики, представим себе на минуту, как физики XIX в. отреагировали бы на получение в подарок портативного компьютера. Нажимать кнопки они научились бы без труда, освоили бы видеоигры и просмотр обучающих программ. Знакомые лишь с техникой столетней давности, ученые восхищались бы поразительными вычислительными способностями компьютера. В его памяти с легкостью можно было бы хранить все накопленные за столетие знания. Вскоре ученые научились бы показывать математические «фокусы»,

изумляя своих коллег. Но если бы они попытались вскрыть компьютер и посмотреть, что находится внутри, то пришли бы в ужас. Транзисторы и микропроцессоры оказались бы далеко за пределами их понимания. Их опыт не был связан ни с чем подобным. Принцип действия такой техники выходил бы за пределы их познаний. Они могли бы только тупо глазеть на замысловатые схемы компьютера, не имея ни малейшего представления о том, как они работают и что все это означает.

Раздражение у этих ученых вызывал бы сам факт существования компьютера, а также то, что он стоит прямо перед ними, но их система представлений не позволяет объяснить это явление. Так и теория струн выглядит физикой XXI в. случайно открытой в XX в. Струнная теория поля тоже вмещает все физические знания. Приложив некоторые усилия, мы научимся «нажимать кнопки», вызывая теорию супергравитации, теорию Калуцы–Клейна и Стандартную модель. Но мы не сможем объяснить, почему все это работает. Струнная теория поля существует, но словно дразнит нас, поскольку нашего интеллекта недостаточно для ее решения.

Проблема в том, что если физика XXI в. попала в XX в. случайно, то математика XXI в. вообще еще не изобретена. Видимо, нам придется дожидаться математики XXI в., чтобы добиться хоть какого-нибудь прогресса. Или же нынешнему поколению физиков придется изобрести математику XXI в. своими силами.

Почему измерений десять?

Одна из самых непостижимых и до сих пор неразгаданных загадок теории струн — почему она определена только для 10 и 26 измерений. Если бы теория была трехмерной, она не могла бы хоть сколько-нибудь рациональным образом объединять известные законы физики. Таким образом, главной особенностью этой теории является геометрия высших измерений.

Выполняя расчеты для распада и соединения струн в N -мерном пространстве, мы постоянно обнаруживаем новые бессмысленные компоненты, уничтожающие удивительные свойства теории. К счастью, эти нежелательные компоненты, по-видимому, умножаются на $(N - 10)$. Следовательно, чтобы устранить возникающие аномалии, нам не остается ничего другого, кроме как принять N равным 10. В сущности, теория струн — единственная известная квантовая теория, требующая, чтобы количество измерений пространства-времени выражалось определенным числом.

К сожалению, в настоящее время специалисты по теории струн не в состоянии объяснить, почему выбрано именно десять измерений. Ответ скрыт в глубинах математики, в области так называемых *модулярных функций*. Оперировав петлевыми диаграммами КСВ, созданными взаимодействующими струнами, мы сталкиваемся со странными модулярными функциями, где число 10 возникает в неожиданных местах. Модулярные функции так же загадочны, как человек, который исследовал их, — мистик с Востока. Если мы постараемся понять труды этого индийского гения, то, возможно, поймем, почему мы живем в нашей нынешней Вселенной.

Тайна модулярных функций

Сриниваса (Шриниваса) Рамануджан — одна из самых удивительных личностей в мире математики, а может быть, и в истории науки в целом. Его сравнивали со вспышкой сверхновой звезды, которая освещала самые темные и потаенные области математики — до тех пор, пока в возрасте 33 лет Рамануджан не умер от туберкулеза, как и Риман в свое время. Работая в полной изоляции от основных направлений и ведущих специалистов в его области, он сумел пройти столетний путь западной математики самостоятельно. Трагедия в том, что его труды большей частью представляют собой бесполезные повторы всем известных математических открытий. В запи-

сях Рамануджана повсюду среди туманных формул рассеяны модулярные функции — одно из самых странных математических явлений. Они неоднократно появляются в наиболее удаленных друг от друга и никак не связанных между собой направлениях математики. Одна из функций, упорно возникающих в модулярной теории, в настоящее время носит название *функции Рамануджана*. Эта причудливая функция содержит элемент, возведенный в двадцать четвертую степень.

В работах Рамануджана число 24 фигурирует постоянно. Такие числа математики называют «магическими»: они постоянно появляются там, где их совсем не ждешь, по причинам, которых никто не понимает. Так и функция Рамануджана волшебным образом возникла в теории струн. Число 24, фигурирующее в функции Рамануджана, так же является источником удивительных сокращений в теории струн. В этой теории все 24 режима функции Рамануджана соответствуют физическим колебаниям струны. Всякий раз, когда струна совершает сложные перемещения в пространстве-времени, разделяясь и восстанавливаясь, необходимо соответствие большому количеству чрезвычайно сложных математических тождеств. Эти тождества и были открыты Рамануджаном. (Поскольку физики добавляют еще два измерения, вычисляя общее количество колебаний, фигурирующих в релятивистской теории, это означает, что пространство-время должно иметь $24 + 2 = 26$ пространственно-временных измерений¹³.)

Когда функция Рамануджана представлена в обобщенном виде, число 24 заменяется числом 8. Таким образом, критическое число для суперструн — $8 + 2$, или 10. Отсюда и вытекает десятое измерение. Струна колеблется в десяти измерениях потому, что ей необходимы обобщенные функции Рамануджана, чтобы сохранять самосогласованность. *Другими словами, физики не имеют ни малейшего представления о том, почему 10 и 26 измерений возникли как измерения струны.* Создается впечатление, что в этих функциях проявляется некая скрытая нумерология, которую никто не понимает. Именно эти магические числа возникают в эллиптической модулярной функ-

ции, которая определяет количество измерений пространства-времени равным десяти.

В конечном итоге источник десятимерной теории так же загадочен, как сам Рамануджан. На вопрос слушателей, зачем природе существовать в десяти измерениях, физики вынуждены отвечать: «Не знаем». Мы имеем смутное представление о том, почему требуется выбирать несколько измерений пространства-времени (иначе струна не в состоянии колебаться самосогласованным квантовым образом), но не знаем, почему выбор падает на эти конкретные числа. Вероятно, разгадка ждет, когда ее обнаружат в утраченных тетрадах Рамануджана.

100 лет математики, открытые заново

Рамануджан родился в 1887 г. в ЭрODE, Индия, близ Мадраса. Его семья принадлежала к высшей индуистской касте браминов, однако обеднела и жила на скудные заработки отца Рамануджана, служившего клерком в конторе торговца платьем.

К тому времени, как Рамануджану исполнилось 10 лет, стало ясно, что он отличается от других детей. Как и Риман до него, он прославился в округе удивительными математическими способностями. Еще ребенком он сам вывел тождество Эйлера между тригонометрическими и экспоненциальными функциями.

В жизни каждого молодого ученого есть поворотный момент — некое событие, определяющее дальнейший ход его жизни. Для Эйнштейна таким событием стало озарение при виде стрелки компаса. Для Римана — чтение книги Лежандра по теории чисел. А для Рамануджана такой момент наступил, когда он наткнулся на ничем не примечательный и забытый труд математика Джорджа Карра. Он был единственным для Рамануджана источником сведений о западной математике того времени, что и сделало книгу знаменитой. По словам его сестры, «именно эта книга пробудила в нем дар. Он

поставил перед собой задачу доказать формулы, приведенные в ней. Поскольку он не мог обратиться к другим книгам, каждое решение представляло собой исследование, в котором он заходил так далеко, как считал нужным... Рамануджан часто повторял, что богиня Намаккал вдохновляет его формулами во сне»¹⁴.

Блестящие способности помогли Рамануджану получить стипендию для обучения в старших классах школы. Но школьная рутина наскучила ему, вдобавок он был настолько поглощен формулами, которые постоянно роились у него в голове, что перейти в выпускной класс не смог и лишился стипендии. В досаде Рамануджан сбежал из дома. В конце концов он вернулся, но заболел и вновь провалился на экзаменах.

Друзья помогли Рамануджану устроиться мелким служащим в мадрасский порт. Эта неквалифицированная работа, за которую платили всего 20 фунтов стерлингов в год, освободила Рамануджана (как Эйнштейна — работа в швейцарском патентном бюро) и дала ему возможность посвятить свободное время своим увлечениям. Результаты сновидений Рамануджан отправил трем известным британским математикам, надеясь установить контакты и с другими специалистами в этой области. Двое математиков, получив письмо от никому не известного индийского клерка, не имеющего официального образования, просто выбросили его. Третьим был талантливый математик из Кембриджа Годфри Харди. Благодаря своему положению Харди привык к странным письмам от незнакомцев и не ждал от очередного послания ничего хорошего. На сплошь исписанных листах он заметил немало уже известных математических теорем. Решив, что к нему обратился явный плагиатор, Харди не стал читать дальше. Но что-то не давало ему покоя. Какая-то мысль точила Харди, не позволяя забыть о странном письме.

И вот 16 января 1913 г. Харди и его коллега Джон Литтлвуд завели за ужином разговор о письме незнакомца и решили еще раз взглянуть на него. Оно начиналось незатейливо: «Покорнейше прошу позволения представиться: клерк

бухгалтерии мадрасского порта с жалованьем всего 20 фунтов в год»¹⁵. Однако письмо от неимущего клерка из Мадраса содержало теоремы, совершенно не известные западным математикам. Всего в нем обнаружилось 120 теорем. Харди был ошеломлен. Он вспоминал, что доказательство некоторых из них «совершенно уничтожило» его, и писал: «Я никогда не видел ничего подобного. С первого взгляда становилось ясно, что такие записи мог сделать только математик высочайшего класса»¹⁶.

Литтлвуд и Харди пришли к одному и тому же поразительному выводу: перед ними явно работа гения, в одиночку проделавшего столетний путь европейских математиков. «Перед ним стояла почти невыполнимая задача: бедный индус, располагающий только своим умом, в одиночку противостоял совокупной мудрости Европы», — вспоминал Харди¹⁷.

Харди выписал Рамануджана в Англию и с огромным трудом в 1914 г. добился для него разрешения на длительное пребывание в Кембридже. Впервые в жизни Рамануджан мог регулярно общаться с коллегами, сообществом европейских математиков. Эти перемены сопровождалась бурной деятельностью — тремя короткими, но насыщенными годами сотрудничества с Харди в кембриджском Тринити-колледже.

Харди пытался оценить математические навыки, которыми обладал Рамануджан. Способности Давида Гильберта, признанного во всем мире одним из величайших математиков XIX в., Харди оценивал на 80 баллов, а способности Рамануджана — на 100 баллов. (Харди считал собственные способности не превышающими 25 баллов.)

К сожалению, ни Харди, ни Рамануджана не интересовали психологические аспекты или процесс мышления, в ходе которого Рамануджан открыл невероятное множество теорем, особенно когда их поток регулярно, с огромной частотой выплескивался из «сновидений». Харди признавался: «Казалось нелепым допытывать его расспросами о том, как он вывел ту или иную известную теорему, когда он почти ежедневно показывал мне с полдюжины новых»¹⁸.

У Харди сохранились яркие воспоминания об этом периоде:

Помню, однажды я приехал проведать его, когда он заболел и лечился в Патни. Я приехал на такси с номером 1729, число показалось мне ничем не примечательным, и я выразил надежду, что это не дурной знак. «Нет, — ответил Рамануджан, — номер очень интересный: это наименьшее число, которое можно представить в виде суммы двух кубов двумя разными способами»¹⁹.

(Иными словами, как сумму $1 \times 1 \times 1$ и $12 \times 12 \times 12$, а также сумму $9 \times 9 \times 9$ и $10 \times 10 \times 10$.) Рамануджан экспромтом выдавал сложные арифметические теоремы, для доказательства которых потребовался бы современный компьютер.

Всегда слабый здоровьем, Рамануджан не мог придерживаться привычной ему строгой вегетарианской диеты в истерзанной войной Англии и был вынужден постоянно лечиться в санаториях. После трехлетнего сотрудничества с Харди он заболел в очередной раз и уже не оправился. Во время Первой мировой войны пассажирские перевозки между Индией и Англией прекратились. Лишь в 1919 г. Рамануджан наконец сумел вернуться на родину, где через год скончался.

Модулярные функции

Научное наследие Рамануджана — его труды: 4000 формул на 400 страницах, три тома записей, состоящих сплошь из поразительно сильных теорем, но не содержащих ни комментариев, ни, что самое досадное, каких-либо доказательств. Мало того, в 1976 г. было сделано новое открытие. По чистой случайности в какой-то коробке в Тринити-колледже было найдено 130 страниц с запечатленным на них результатом трудов последнего года жизни Рамануджана. Теперь эти страницы носят название «Потерянная тетрадь» Рамануджана. Об этих записях математик Ричард Эски сказал: «Работа, проделанная им в тот предсмертный год, сопоставима с тем, что мог

сделать за всю жизнь какой-нибудь великий математик. Его достижения невероятны. Если бы они были описаны в романе, никто бы просто не поверил». Рассказывая о своей напряженной работе по расшифровке «Тетради», Джонатан Борвейн и Питер Борвейн замечают: «Насколько нам известно, попыток математического редактирования такого объема и сложности еще не предпринималось»²⁰.

Изучать последовательность уравнений Рамануджана подобно тому, как человеку, привыкшему за долгие годы к европейской музыке Бетховена, вдруг услышать совершенно иную разновидность музыки, прекрасные и неземные мелодии Востока, сочетающие гармонии и ритмы, никогда не звучавшие на Западе. Джонатан Борвейн говорит: «По-видимому, он функционировал совсем не так, как известные нам люди. Он обладал таким восприятием, что идеи буквально выплывали из его головы. Возможно, он и сам не мог объяснить, как это происходит. Это все равно что наблюдать, как кто-то веселится на пиру, куда ты не приглашен».

Как известно физикам, «случайности» не возникают без причины. Когда долго делаются сложные вычисления и вдруг тысячи нежелательных элементов волшебным образом приводятся к нулю, им ясно, что тому есть причина. Сегодня физикам известно, что подобные «случайности» — свидетельство действия симметрии. В теории струн такая симметрия называется конформной — это симметрия растяжения и деформации струнного «мирового листа».

Именно к ней относится работа Рамануджана. Для того чтобы исходную конформную симметрию не разрушила квантовая теория, необходимо соответствие ряду математических тождеств. Под ними подразумеваются тождества модулярной функции Рамануджана.

Итак, мы исходили из фундаментальной предпосылки, согласно которой законы природы упрощаются, будучи выраженными в высших измерениях. Но когда речь идет о квантовой теории, в это утверждение понадобится внести поправку, и теперь оно будет звучать так: законы природы упрощаются,

когда *самосогласованность* выражена в высших измерениях. Слово «самосогласованность» играет здесь решающую роль. Это ограничение вынуждает нас пользоваться модулярными функциями Рамануджана, определяющими количество измерений пространства-времени равным десяти. В свою очередь, у нас появляется решающая подсказка, помогающая объяснить происхождение Вселенной.

Эйнштейн часто спрашивал себя, был ли у Бога выбор при сотворении Вселенной. По мнению теоретиков суперструн, коль скоро требуется объединение квантовой теории и общей теории относительности, у Бога выбора не было. Согласно их утверждению, одна только необходимость самосогласованности заставила бы Бога создать Вселенную так, как он и сделал.

Несмотря на то что математическая изощренность, ассоциирующаяся с теорией суперструн, достигла головокружительных масштабов и ошеломила математиков, критики теории до сих пор указывают на ее самое слабое место. Любая теория, заявляют они, должна быть доступна для проверки. А поскольку теория, определенная при планковской энергии 10^{19} млрд эВ, проверке не поддается, теория суперструн на самом деле вовсе не теория!

Как мы уже указывали, главная проблема носит скорее теоретический, чем экспериментальный характер. Будь мы достаточно сообразительны, мы нашли бы разгадку теории и верное непертурбативное решение для нее. Но это не избавляет нас от поисков каких-нибудь способов экспериментального подтверждения теории. Для того чтобы проверить ее, мы должны дожидаться сигналов из десятого измерения.

Сигналы из десятого измерения

Как было бы странно, если бы окончательную теорию открыли при нашей жизни! Открытие окончательных законов природы ознаменует разрыв в интеллектуальной истории человечества — самый явный со времен появления современной науки в XVII в. Можем ли мы вообразить себе сейчас, как это будет?

Стивен Вайнберг

Красота — физический закон?

Теория суперструн дает нам убедительную формулировку теории Вселенной, но не решает фундаментальную проблему: экспериментальная проверка теории при нынешнем уровне развития техники и технологии невозможна. Теория предполагает возможность объединения всех сил при планковской энергии, или 10^{19} млрд эВ, что примерно в квадрильон раз больше энергетических возможностей нынешних ускорителей частиц.

Физик Дэвид Гросс, высказываясь по поводу затрат на аккумуляцию энергии, говорит: «Для этого не хватит денежных запасов в казне всех стран мира вместе взятых. Суммы поистине астрономические»¹.

Это обстоятельство вызывает разочарование, так как означает, что экспериментальное подтверждение — двигатель прогресса в физике — уже невозможно получить с помощью машин нынешнего или какого-либо воображимого другого поколения. А это, в свою очередь, означает, что десятимерная

теория — не теория в общепринятом смысле, так как ее невозможно подвергнуть проверке в условиях нынешнего уровня развития техники и технологии на планете. В таком случае напрашивается вопрос: является ли красота как таковая физическим принципом, способным заменить отсутствие экспериментального подтверждения?

Кто-то сразу решительно ответит «нет». Такие теории пренебрежительно называют «опереточной физикой» или «занимательной математикой». Самый язвительный из критиков — нобелевский лауреат Шелдон Глэшоу из Гарварда. В этом споре он взял на себя роль назойливого овода, возглавляющего нападки на физиков, которые утверждают, что высшие измерения могут существовать. Глэшоу обрушивается на этих ученых, сравнивая нынешнюю эпидемию подобных взглядов с вирусом СПИДа — намекая, что она неизлечима. А последствия нынешнего повального увлечения некоторыми теориями он сравнивает с программой «звездных войн» бывшего президента Рейгана:

Вот вам загадка: назовите два масштабных проекта, которые невероятно сложны, требуют многолетних исследований и, возможно, неосуществимы в реальном мире. Это «звездные войны» и доказательство теории струн. Ни тот ни другой замысел невозможно осуществить с имеющимися технологиями, ни один проект не в состоянии достичь поставленных целей. Оба они слишком затратны с точки зрения человеческих ресурсов. И в обоих случаях русские отчаянно пытаются угнаться за нами².

Подливая масла в огонь споров, Глэшоу даже сочинил стих про теорию всего, заканчивающийся так:

Если хватит теории своеобразия
Превзойти свое струнное орбиобразия,
И ни возраст ее знатоков, ни склероз
Гетерозисом не ограничит вопрос, —
Вот тогда есть надежда на умников новых.
И не Виттен напишет последнее слово³.

Глэшоу поклялся (но не сдержал клятву) искоренить чуждые ему взгляды в Гарварде, где он преподает. Вместе с тем он признает, что, высказываясь по этому вопросу, зачастую оказывается в меньшинстве. И с сожалением добавляет: «Я чувствую себя динозавром в мире выскочек-млекопитающих»⁴. (Другие нобелевские лауреаты, к примеру Мюррей Гелл-Манн и Стивен Вайнберг, явно не разделяют взгляды Глэшоу. В частности, Вайнберг заявляет: «В настоящее время теория струн — наш единственный источник кандидатов для работы над окончательной теорией: как же можно требовать, чтобы самые талантливые молодые теоретики не занимались ею?»⁵)

Понять подтекст дебатов, касающихся объединения всех взаимодействий, а также проблем с экспериментальным подтверждением, поможет поучительная «притча о драгоценном камне».

Для начала предположим, что был некий драгоценный камень поразительной красоты, идеально симметричный в трех измерениях. Однако этот камень не отличался стабильностью. Однажды он взорвался, а осколки разлетелись во все стороны и посыпались градом на двумерную Флатландию. Заинтересованные флатландцы предприняли поиски и сбор обломков. Взрыв камня они назвали Большим взрывом, но так и не поняли, почему обломки рассеяны по всему их миру. В конце концов было выявлено два вида обломков: гладкие, отполированные с одной стороны, которые флатландцы сравнивали с «мрамором», и зазубренные, бесформенные, которые сравнивали с «деревом».

С годами флатландцы разделились на два лагеря. В первом принялись составлять единое целое из отполированных обломков. Мало-помалу обломки начали становиться на свои места. Изумляясь при виде того, что получилось, флатландцы пришли к убеждению, что видят некое проявление эффективной новой геометрии. Результат подбора фрагментов флатландцы назвали теорией относительности.

Во втором лагере прилагали все старания, чтобы собрать воедино зазубренные обломки неправильной формы. В поиске

рисунков и закономерностей эта группа флатландцев также добилась некоторых успехов. Однако из обломков произвольной формы сложилось всего лишь большее по размерам, но столь же неправильное по форме образование, названное Стандартной моделью. Безобразное нагромождение обломков, известное под этим названием, никого не вдохновляло.

После долгих лет кропотливого мучительного труда, направленного на совмещение двух групп фрагментов, стало ясно, что способа совместить отполированные обломки с обломками произвольной формы не существует.

А потом одного одаренного флатландца осенила блестящая мысль. Он объявил, что два набора фрагментов можно сделать единым целым, если переместить оба «вверх», т. е. в некое место, которое он назвал третьим измерением. Предложенный новый подход озадачил большинство флатландцев: никто не мог понять, что означает слово «вверх». Но с помощью компьютера автору идеи удалось показать, что «мраморные» обломки можно рассматривать как части наружной поверхности какого-то объекта, потому они и отполированы, а «деревянные» обломки относятся к внутренним частям того же объекта. Когда обломки объединили в третьем измерении с помощью компьютера, флатландцы ахнули, увидев изумительный драгоценный камень с идеальной трехмерной симметрией. Одним махом искусственное различие между двумя наборами обломков было устранено с помощью чистой геометрии.

Однако при таком решении несколько вопросов осталось без ответа. Некоторые флатландцы по-прежнему требовали экспериментальных подтверждений, а не только теоретических расчетов, хотели убедиться, что из фрагментов действительно можно собрать драгоценный камень. Теория давала точное представление о том, сколько энергии понадобится, чтобы сконструировать мощные машины, способные поднять обломки «вверх», над Флатландией, и собрать их в трехмерном пространстве. Энергии требовалось в квадрильон раз больше, чем имелось в распоряжении флатландцев.

Кого-то устраивали теоретические расчеты. Даже в отсутствие экспериментального подтверждения некоторые флатландцы сочли, что «красоты» более чем достаточно для того, чтобы решить проблему объединения. Они напоминали, что, как показывает история, решения самых трудных проблем в природе отличаются особой красотой. И справедливо указывали, что теории трехмерности нет равных.

Но другие флатландцы подняли шум. Теория, которую нельзя проверить, — это не теория, возмущались они. И добавляли, что проверка теории истощит лучшие умы и приведет к напрасной трате ценных ресурсов.

Как и в реальном мире, споры во Флатландии продолжались некоторое время, и это даже к лучшему. Как сказал философ XVIII в. Жозеф Жубер, «лучше обсуждать вопрос и ни к чему не прийти, чем решить вопрос без обсуждения».

Сверхпроводящий суперколлайдер: окно в сотворение

Английский философ XVIII в. Дэвид Юм, известный своим высказыванием, что каждая теория должна строиться на фундаменте эксперимента, так и не сумел объяснить, каким образом можно экспериментально подтвердить креационистскую теорию. Юм утверждал, что суть эксперимента — в его воспроизводимости. Если эксперимент нельзя повторять снова и снова в разных местах и в разное время и получать одинаковые результаты, значит, теория не внушает доверия. Но как осуществить эксперимент с сотворением мира? Поскольку сотворение по определению невоспроизводимо, Юму пришлось признать, что подтвердить какую бы то ни было теорию сотворения невозможно. И он заявил, что наука может ответить почти на все вопросы, касающиеся Вселенной, кроме единственного — о сотворении, которое нельзя воспроизвести экспериментальным путем.

В некотором смысле мы столкнулись с современной версией проблемы, обозначенной Юмом в XVIII в. Проблема

по-прежнему в энергии, необходимой для воспроизведения сотворения. Но, несмотря на то что прямое экспериментальное подтверждение десятимерной теории в наших лабораториях невозможно, есть несколько способов подойти к этому вопросу косвенным путем. Наиболее логичный подход — расчет на то, что Сверхпроводящий суперколлайдер (ССК) поможет обнаружить субатомные частицы с характерными признаками суперструны, такими как суперсимметрия. Хотя ССК не достигает планковской энергии, благодаря ему мы можем получить убедительное косвенное свидетельство корректности теории суперструн.

ССК (строительство которого было прекращено по настоянию политической оппозиции) обещал стать поистине грандиозной установкой, последней в своем роде. Его строили неподалеку от Далласа, Техас; к 2000 г. должен был получиться гигантский туннель в виде кольца протяженностью 50 миль (80 км) в окружении столь же гигантских магнитов. (Если бы центр кольца находился в Манхэттене, то само оно распростиралось бы вглубь штатов Коннектикут и Нью-Джерси.) Более 3000 штатных и приглашенных физиков и других специалистов понадобилось бы, чтобы проводить эксперименты и анализировать данные, полученные с помощью этой установки.

ССК предназначался для того, чтобы внутри туннеля по кругу разгонялись два пучка протонов до тех пор, пока не достигнут скорости, близкой к скорости света. Поскольку эти пучки должны были перемещаться по часовой стрелке и против нее, было бы нетрудно заставить их столкнуться внутри туннеля, когда они достигнут максимальных значений энергии. Предполагалось, что протоны будут сталкиваться с энергией 40 трлн эВ (4 тераэлектронвольт, или 4 ТэВ), создавая мощный выброс субатомного мусора, пригодного для анализа. Подобных столкновений не случалось со времен Большого взрыва (отсюда и прозвище ССК — «окно в сотворение»). Среди обломков ученые надеялись найти редкие субатомные частицы, способные пролить свет на высшие формы материи.

Неудивительно, что ССК считали колоссальным инженерным и физическим проектом, раздвигающим границы известных технологий. Поскольку магнитные поля, необходимые для того, чтобы вызвать отклонение протонов и антипротонов в туннеле, должны быть исключительно велики (примерно в 100 тысяч раз превосходить магнитное поле Земли), для создания и поддержания такого поля требовались специфические процедуры. К примеру, чтобы уменьшить нагревание и электрическое сопротивление в проводах, магниты предстояло охлаждать почти до абсолютного нуля. Вдобавок их требовалось особым образом обрабатывать, так как в противном случае магнитные поля деформировали бы металл самого магнита.

ССК с проектной стоимостью \$11 млрд стал вождественной целью и предметом интенсивных политических махинаций. В прошлом места для ускорителей выбирали в ходе неприкрытой политической торговли. Так, в штате Иллинойс ускоритель «Фермилаб» (Fermilab) разместили в Батавии, возле самого Чикаго, по той причине, что, согласно журналу *Physics Today*, президенту Линдону Джонсону требовался решающий голос сенатора от Иллинойса Эверетта Дирксона в голосовании по вопросу войны во Вьетнаме. Вероятно, подобным образом обстояло дело и с ССК. Несмотря на яростную борьбу многих штатов за возможность осуществить этот проект, мало кто удивился, когда в 1988 г. местом размещения ССК был объявлен Техас, где выросли избранный президент США и кандидаты в вице-президенты от Демократической партии.

На строительство ССК были затрачены миллиарды долларов, но его так и не завершили. К ужасу сообщества физиков, в 1993 г. палата представителей проголосовала за полное прекращение работ по этому проекту. Даже мощное лобби не помогло возобновить его финансирование. С точки зрения конгресса, дорогостоящий ускоритель частиц можно было рассматривать двояко. С одной стороны, он был лакомым кусочком — объектом, обеспечивающим тысячи рабочих мест и миллиарды долларов федеральных субсидий штату,

в котором его строили. С другой стороны, строительство ускорителя можно было рассматривать как напрасную трату сил и средств, не дающую никакой потребительской выгоды. В скудные времена, рассудили в конгрессе, баснословно дорогая игрушка для специалистов в области высоких энергий — непозволительная для государства роскошь. (Однако, справедливости ради, финансирование проекта ССК стоит показать в сравнении с другими. Финансирование программы «звездных войн» составляло \$4 млрд в год. Примерно \$1 млрд требуется для переоснащения авианосца. Один полет космического корабля многоразового использования обходится в \$1 млрд. А строительство единственного бомбардировщика «стелс» В-2 — почти в \$1 млрд.)

ССК потерян для нас, и все-таки что мы могли бы обнаружить с его помощью? Как минимум ученые надеялись найти редкие частицы, такие как таинственный бозон Хиггса, предсказанный Стандартной моделью*. Именно бозон Хиггса нарушает симметрию, следовательно, является источником массы кварков. Таким образом, мы рассчитывали, что ССК обнаружит «источник массы». Все окружающие нас предметы, которые хоть сколько-нибудь весят, обязаны своей массой бозону Хиггса.

Вместе с тем физики готовы держать пари, что с той же вероятностью ССК мог бы обнаружить редкие частицы, не относящиеся к Стандартной модели. (В качестве возможных вариантов называли «техницветные» частицы, не входящие в Стандартную модель, но очень близкие к ней, и «аксионы», способные объяснить проблему темной материи.) Но, вероятно, наиболее заманчивой была возможность обнаружения суперпартнеров — суперсимметричных партнеров обычных частиц. К примеру, гравитино — суперсимметричный

* Бозон Хиггса был открыт в 2012 г. коллаборациями ATLAS и CMS Большого адронного коллайдера, и Питер Хиггс получил свою заслуженную Нобелевскую премию годом позже. На сегодняшний день неясно, открыт ли бозон Хиггса Стандартной модели или это лишь первый из нескольких членов семейства, предсказываемых расширениями СМ. — *Прим. науч. ред.*

партнер гравитона. Суперсимметричные партнеры кварка и лептона — скварк и слептон соответственно.

Если бы суперпартнеры в конце концов были обнаружены, у нас появился бы слабый шанс увидеть остатки самой суперструны. (Суперсимметрия, как симметрия в теории поля, впервые была открыта в рамках теории суперструн в 1971 г., еще до открытия супергравитации. Теория суперструн — по всей вероятности, единственная, в которой суперсимметрию и гравитацию можно объединить полностью самосогласованным образом.) И даже если потенциальное открытие частиц-суперпартнеров не докажет правильность теории суперструн, то по крайней мере оно заставит замолчать скептиков, утверждающих, что теория суперструн не подтверждена ровным счетом никакими физическими свидетельствами.

Сигналы из космоса

Так как ССК не был построен и не помог обнаружить частицы, представляющие собой низкоэнергетические резонансные колебания суперструны, остается еще одна возможность — измерить энергию космического излучения, т. е. высокоэнергетических субатомных частиц до сих пор неизвестного происхождения, скрывающихся в глубинах космоса за пределами нашей галактики. К примеру, хотя никто не знает, откуда берется космическое излучение, оно обладает энергией, значительно превосходящей ту, которую можно обнаружить в наших лабораториях.

В отличие от управляемого излучения, получаемого в ускорителях частиц, космическое излучение обладает непредсказуемой энергией и не может выдавать ее в определенных количествах по требованию. В каком-то смысле два вида излучения сравнимы с двумя способами тушения пожара — либо достав шланг, либо дожидаясь грозы. Вода из шланга гораздо удобнее: ее можно пустить и перекрыть в любой момент, когда нам захочется, можно регулировать силу струи, вдобавок вода движется с одинаковой скоростью. Следовательно, вода из пожар-

ного гидранта — аналог управляемых пучков в ускорителях частиц. Гроза гораздо мощнее и эффективнее воды из пожарного гидранта. Беда в том, что грозы, как и космическое излучение, непредсказуемы. Регулировать потоки дождевой воды невозможно, как и предсказать их скорость, которая может меняться в широких пределах.

Космическое излучение было открыто 80 лет назад в ходе экспериментов, которые священник-иезуит Теодор Вульф проводил на Эйфелевой башне в Париже. Первые три-четыре десятилетия XX в. отважные физики совершали полеты на воздушных шарах или поднимались в горы, чтобы как можно точнее измерить космическое излучение. Но в 1930-х гг. исследования космического излучения мало-помалу прекратились, особенно после того, как Эрнест Лоуренс изобрел циклотрон и получил в лаборатории управляемые лучи — более мощные, чем большинство космических. К примеру, космическое излучение с энергией 100 млн эВ встречается так же часто, как дождевые капли; несколько таких лучей каждую секунду пронизывает каждый квадратный дюйм (2,5 см) земной атмосферы. Однако изобретенные Лоуренсом гигантские установки давали в 10–100 раз больше энергии.

К счастью, эксперименты с космическим излучением значительно изменились с тех пор, как отец Вульф впервые разместил электроскопы на Эйфелевой башне. В настоящее время ракеты и даже спутники доставляют индикаторы излучения на огромную высоту над поверхностью Земли, где влияние атмосферы минимально. Когда высокоэнергетическое космическое излучение пронизывает атмосферу, оно оставляет за собой след из расщепленных атомов. Их фрагменты, в свою очередь, создают град разрушенных атомов или ионов, которые можно выявить с помощью детекторов. Сотрудничество между Чикагским и Мичиганским университетами способствовало самому масштабному на тот момент проекту исследования космического излучения: на одной квадратной миле пустыни было размещено 1089 детекторов, которые должны были сработать под воздействием космического излучения. Для них выбрали

идеальное безлюдное место: испытательный полигон Дагуэй в 80 милях (128 км) к юго-западу от Солт-Лейк-Сити, Юта.

Детекторы в Юте достаточно чувствительны, чтобы определить место происхождения самого мощного космического излучения. На данный момент наиболее мощными космическими излучателями признаны Лебедь X-3 и Геркулес X-1. По всей вероятности, это большие, вращающиеся нейтронные звезды или даже черные дыры, которые медленно поглощают соседние звезды, создают огромные энергетические воронки и в гигантских количествах выбрасывают в космос излучение (к примеру, протонное).

До настоящего времени наиболее мощное из когда-либо выявленных космических излучений обладало энергией 10^{20} эВ. Невероятная величина, она в 10 млн раз превосходит энергию, которую мог бы давать ССК. В ближайшем столетии мы не сможем получать с помощью установок энергию, хоть сколько-нибудь сопоставимую с космической. Несмотря на то что и эта колоссальная энергия примерно в 100 млн раз меньше необходимой для изучения десятого измерения, мы надеемся, что энергия, вырабатываемая глубоко в черных дырах нашей галактики, приблизится к планковской. С помощью большого орбитального космического аппарата мы могли бы глубже изучить строение этих источников и обнаружить энергии, даже превосходящие эти.

Согласно одной популярной теории, крупнейший источник энергии в нашей галактике Млечный Путь, не идущий ни в какое сравнение с излучением Лебеда X-3 или Геркулеса X-1, находится в центре, который может состоять из миллионов черных дыр. Так что после прекращения конгрессом строительства ССК может оказаться, что самое эффективное средство для изучения десятого измерения может находиться в космосе.

Проверка непроверяемого

Обратившись к истории, мы увидим, что физики не раз торжественно провозглашали те или иные явления «непроверяемыми» или «недоказуемыми». Однако среди ученых встречается

и другая позиция в отношении недоступности планковской энергии: благодаря непредвиденным открытиям в будущем возможны косвенные эксперименты с применением энергии, близкой к планковской.

В XIX в. некоторые ученые считали, что подтвердить состав звезд экспериментальным путем не удастся никогда. В 1825 г. французский философ и социолог Огюст Конт в своем «Курсе философии» (*Cours de philosophie*) заявлял, что звезды навсегда останутся для нас недостижимыми светящимися точками в небе, так как расстояния, отделяющие нас от них, громадны. Технике XIX в. или любого другого, как утверждал Конт, просто не хватит мощности, чтобы оторваться от Земли и достичь звезд.

Несмотря на то что определение состава звезд было объявлено невыполнимой задачей для любой науки, как ни парадоксально, почти в то же время немецкий физик Йозеф Фраунгофер решил ее. С помощью призмы и спектроскопа он сумел расщепить белый свет далеких звезд и определить их химический состав. Поскольку каждый химический элемент звезд оставляет характерный «отпечаток пальца», а именно дает определенный световой спектр, Фраунгофер без труда осуществил «невыполнимое» и определил, что в составе звезд преобладает водород.

В свою очередь, это вдохновило поэта Иэна Буша на следующие строки:

Ты мигай, звезда ночная!
Где ты, что ты — я-то знаю,
Спектроскоп мне не совет:
Ты — горящий водород⁶.

Таким образом, хотя запасы энергии, необходимые для полетов к звездам в ракете, по-прежнему остались недостижимыми для Конта (как и для любого современного ученого), решающий шаг в исследованиях не потребовал затрат энергии. Ключевую роль сыграло следующее наблюдение: сигналов, исходящих от звезд, а именно их излучения, достаточно, чтобы решить задачу и без непосредственных измере-

ний. Точно так же можно надеяться, что сигналов планковской энергии (возможно, от космического излучения или пока еще неизвестного источника) окажется достаточно для исследования десятого измерения, следовательно, прямые измерения в огромных ускорителях частиц не понадобятся.

Еще один пример «непроверяемой» идеи — существование атомов. В XIX в. атомистическая гипотеза сыграла решающую роль в понимании законов химии и термодинамики. Однако многие физики отказывались верить в существование атомов, считая их всего лишь математическим приемом, по случайности дающим точное описание мира. К примеру, философ Эрнст Мах не верил в существование атомов и рассматривал их только как инструмент для вычислений. (Даже сегодня мы не в состоянии получить изображение атома — из-за принципа неопределенности Гейзенберга, хотя косвенные методы решения этой задачи уже существуют.) Но в 1905 г. Эйнштейн обнаружил убедительное, хоть и косвенное, свидетельство существования атомов, показав, что броуновское движение (т. е. хаотичное движение пылинок, находящихся в жидкости во взвешенном состоянии) можно объяснить как беспорядочные столкновения частиц и атомов в жидкости.

По аналогии можно рассчитывать на экспериментальное подтверждение физики десятого измерения с помощью косвенных методов, которые пока еще не открыты. Вместо фотографий объекта нам, вероятно, придется довольствоваться фотографиями его «тени». Может быть, косвенный подход будет заключаться в тщательном изучении данных о низких энергиях, полученных в ускорителе частиц, а также представлять собой попытки выяснить, оказывает ли физика десятимерного пространства какое-либо влияние на эти данные.

Третьей непроверяемой идеей в физике была гипотеза о существовании неуловимого нейтрино.

В 1930 г. физик Вольфганг Паули выдвинул гипотезу о новой невидимой частице *нейтрино*, чтобы учесть недостающий энергетический компонент в некоторых экспериментах с радиоактивностью, в которых, казалось, нарушался закон

сохранения материи и энергии. Но Паули понял, что нейтрино почти невозможно обнаружить экспериментальным путем, поскольку они взаимодействуют с материей очень слабо и редко. К примеру, если бы нам удалось изготовить цельный свинцовый брус протяженностью несколько световых лет от нашей Солнечной системы до альфы Центавра и поместить его на пути пучка нейтрино, для некоторых из них даже такая преграда оказалась бы преодолимой. Нейтрино способны проходить сквозь Землю так, словно ее не существует, мало того — триллионы нейтрино, излучаемых Солнцем, постоянно проникают сквозь наше тело даже по ночам. Паули признавал: «Я совершил непростительный грех — предположил существование частицы, которую не обнаружат никогда»⁷.

Нейтрино настолько неуловимы и невыявляемы, что они даже побудили Джона Апдайка написать стих под названием «Космическая наглость»:

Нейтрино, крохотные тени,
Отринув массу и заряд,
Не признают закон общений,
Взаимодействий и преград.
Они по всей Вселенной шарят,
Не поступаясь прямизной.
Для них — пустой надутый шарик
Трильоннотонный шар земной.
Ничто не сдвинув и не тронув,
Они проходят сквозь него —
Так сквозь стекло скользят фотоны,
Так пыль пронесит сквозняком.
Ни стен для них, ни пьедесталов.
Они способны осадить
Холодную закалку стали
И жаркой меди звон и прыть.
Они летят таким карьером,
Что и не снился жеребцам,
Поверх всех классовых барьеров

Вторгаясь в тело мне и вам.
Их суд немислимо высокий,
Их приговор неотвратим,
Он шлет на головы потоки
Неощутимых гильотин.
Ныряя где-нибудь в Евфрате,
Они уходят в глубину,
Чтобы пронзить из-под кровати
Ньюйоркца и его жену.
Средь ночи протыкать перину!
Вы скажете: вот молодцы!
А я считаю, что нейтрино —
Космические наглецы*⁸.

Хотя когда-то нейтрино по причине слабого взаимодействия с другой материей, считали совершенно непроверяемой теорией, сегодня мы регулярно получаем пучки нейтрино в ускорителях частиц, проводим эксперименты с нейтрино, которые испускает атомный реактор, и выявляем их присутствие в шахтах глубоко под землей. (Когда в 1987 г. ослепительная сверхновая звезда озарила небо в Южном полушарии, физики заметили резкий всплеск нейтрино, проходящих через детекторы глубоко в шахтах. Так впервые детекторы нейтрино были применены для проведения важных астрономических измерений.) Всего за три десятилетия нейтрино прошли путь от идеи, которую невозможно проверить, до ценных помощников современной физики.

Проблема в теории, а не в экспериментах

Если рассматривать историю науки за долгий период времени, можно предположить, что основания для оптимизма все-таки есть. Витген убежден, что когда-нибудь наука докопается и до планковской энергии. Он заявляет:

* Пер. Г. Варденги. — *Прим. пер.*

Отличить простые вопросы от сложных не всегда бывает легко. В XIX в. вопрос о том, почему вода закипает при 100° , считался неразрешимым. Если бы кто-нибудь сказал физику из XIX в., что в XX в. эту температуру можно будет просто вычислить, он счел бы услышанное сказкой... Квантовая теория поля настолько сложна, что никто до конца в нее не верил на протяжении 25 лет.

По мнению Виттена, «удачные идеи всегда получают подтверждение»⁹.

Астроном Артур Эддингтон даже задавался вопросом, не преувеличивают ли ученые значимость проверки любых предположений. Он писал: «Ученые обычно заявляют, что убеждения должны строиться на наблюдениях, а не на теориях... Я никогда не сталкивался с кем-либо, кто следует этому на практике... Наблюдений недостаточно... теория в значительной мере определяет убеждения»¹⁰. Нобелевский лауреат Поль Дирак выразился еще прямее: «Красота уравнения гораздо важнее соответствия эксперименту»¹¹. Или, говоря словами ученого из ЦЕРНа Джона Эллиса, «как было написано на обертке конфеты, которая попала мне несколько лет назад, “в этом мире только оптимисты добиваются хоть чего-нибудь”». Но несмотря на внушающие некоторый оптимизм доводы, ситуация с экспериментами удручает. Я согласен со скептиками в том, что максимум, на который мы можем рассчитывать, — косвенная проверка десятимерной теории в XXI в. Дело в том, что в конечном счете это теория сотворения, поэтому ее проверка неизбежно предусматривает частичное воспроизведение Большого взрыва в лабораторных условиях.

Лично я не считаю, что нам придется ждать целый век, пока наши ускорители, космические зонды и счетчики частиц космического излучения станут достаточно мощными, для того чтобы получить косвенные подтверждения существования десятого измерения. Спустя некоторое время, явно еще при жизни нынешних физиков, кому-то хватит интеллекта либо подтвердить, либо опровергнуть десятимерную теорию

с помощью струнной теории поля или других непertурбативных уравнений. Таким образом, это проблема теоретического, а не экспериментального свойства.

Если предположить, что какой-нибудь талантливый физик решит задачу струнной теории поля и выведет из нее известные свойства нашей Вселенной, останется практическая проблема: когда мы сумеем использовать возможности теории гиперпространства. Есть два варианта:

1. Мы дождемся, когда наша цивилизация освоит энергии, в триллионы раз превосходящие те виды, которые мы можем получить сегодня.
2. Мы встретим представителей внеземных цивилизаций, владеющих искусством управления гиперпространством.

Напомним: понадобилось около 70 лет (между появлением работ Фарадея и Максвелла и работ Эдисона и его коллег), чтобы приступить к использованию электромагнитного взаимодействия в практических целях. Однако современная цивилизация во многом зависит от овладения этой силой. Ядерное взаимодействие было открыто почти на рубеже веков, но даже теперь, 80 лет спустя, у нас нет способов надежно управлять им с помощью термоядерных реакторов. Следующий скачок — обуздание силы единой теории поля — потребует гораздо более значительного скачка в развитии нашей техники и технологии и, вероятно, будет иметь еще более значительные последствия.

Фундаментальная проблема заключается в том, что мы заставляем теорию суперструн отвечать на вопросы о повседневной энергии, тогда как ее стихия — планковская энергия. Эта поразительная энергия высвободилась только в момент сотворения. Иначе говоря, теория суперструн — не что иное, как теория сотворения. И словно от гепарда, посаженного в клетку, мы требуем от этого великолепного создания, чтобы оно плясало и пело нам на потеху. Но стихия гепарда — африканские саванны, а стихия теории суперструн — момент

сотворения. Тем не менее, учитывая технологический уровень наших искусственных спутников, возможно, найдется новейшая «лаборатория», в которой мы сможем экспериментально исследовать естественную стихию теории суперструн, т. е. отголосок сотворения!

До сотворения

В начале было великое вселенское яйцо. Внутри яйца царил хаос, а среди хаоса парил Пань-гу, божественный эмбрион.

Миф о Пань-гу, Китай, III в.

Если Бог сотворил мир, то где сам Бог был до сотворения?.. Знай, что мир несотворим, как само время, без начала и конца.

Махапурана, Индия, IX в.

«**А** у Бога была мама?»

Узнав, что Бог сотворил небо и землю, дети задают наивный вопрос о том, была ли у Бога мама. Этот обманчиво простой вопрос озадачивает старейшин церкви, смущает выдающихся богословов, вызывает ожесточенные теологические споры на протяжении нескольких веков. Все мировые религии строят свою мифологию вокруг божественного акта творения, но ни одна из них не способна адекватно реагировать на логические парадоксы, стоящие даже за детскими вопросами.

Возможно, Бог действительно сотворил небеса и землю за семь дней, но что было до первого дня сотворения? Если признать, что у Бога была мать, последуют другие естественные вопросы: была ли мать у нее — и так далее до бесконечности. А если утверждать, что матери у Бога не было, неизбежно возникнет еще больше новых вопросов. Откуда взялся Бог? Всегда ли он существовал в вечности или же время не имеет отношения к Богу?

На протяжении веков даже великих художников, выполняющих заказы церкви, занимали каверзные богословские вопросы относительно их произведений искусства: к примеру, должны ли быть пупки у изображений Бога, Адама и Евы? Поскольку пупок — это след на месте прикрепления пуповины, получается, что ни Бога, ни Адама, ни Еву не следует изображать с пупком. С такой дилеммой столкнулся Микеланджело, расписывая потолок Сикстинской капеллы сценами сотворения и изгнания Адама и Евы из Едемского сада. Ответ на этот богословский вопрос можно обнаружить в любом крупном музее: у Бога, Адама и Евы просто нет пупков, так как они были первыми.

Доказательства существования Бога

Обеспокоенный расхождениями в церковной идеологии, святой Фома Аквинский в XIII в. решил перевести богословские споры из плоскости туманной мифологии на уровень строгой логики. Ответы на извечные вопросы он предложил в своих известных «доказательствах бытия Божия».

И подытожил свои аргументы в стихотворной форме:

Сущее движется — значит, есть источник движенья.

У всего есть причина — значит, есть и первопричина.

Если мир существует, значит, над ним есть творец.

Есть добродетель — значит, есть образец совершенства.

Сущее создано — значит, на то божий промысел был¹.

(Первые три строки — так называемое *космологическое доказательство*, четвертая опирается на фундамент нравственности, пятая формулирует *телеологическое доказательство*. На данный момент нравственное доказательство является самым слабым, так как моральные нормы нельзя рассматривать в отрыве от эволюции общественных традиций.)

«Космологическим» и «телеологическим» доказательствами существования Бога, выдвинутыми Фомой Аквинским, цер-

ковь пользовалась последние 700 лет, отвечая на каверзный богословский вопрос. В свете научных открытий прошедших семи веков стало ясно, что эти доказательства небезупречны, однако для своего времени они были достаточно искусными, что свидетельствует о влиянии древних греков, которые первыми ввели ригоризм в свои рассуждения о природе.

Фома Аквинский приступал к космологическому доказательству с постулата о Боге как перводвигателе и первопричине. От ответа на вопрос «Кто сотворил Бога?» он уходил, заявляя, что этот вопрос не имеет смысла. У Бога нет создателя, потому что он был первым. И точка. Согласно космологическому доказательству все, что движется, должно быть движимо чем-то, что в свою очередь тоже приводится чем-то в движение и так до бесконечности. Но что приводит в движение перводвигатель?

Представьте себе, что вы отдыхаете, сидя в парке, и смотрите, как перед вами проезжает детская коляска. Наверное, думаете вы, коляску толкает малыш. Подождав немного, вы видите, что первую коляску толкает вторая. Заинтересовавшись, вы ждете, когда появится малыш, но вслед за первыми двумя колясками в поле вашего зрения возникает третья. Время идет, перед вашими глазами проезжают сотни колясок, каждая последующая толкает предыдущие, а ребенка не видно. Озадачившись, вы вглядываетесь вдаль. И с удивлением видите бесконечную последовательность колясок, растянувшуюся до самого горизонта: каждая последующая толкает предыдущие, а ребенка за ними нет. Если для перемещения одной коляски нужен ребенок, неужели бесконечную последовательность колясок можно приводить в движение без перводвигателя? Может ли такая бесконечная последовательность колясок толкать сама себя? Нет. Значит, Бог просто обязан существовать.

Телеологическое доказательство выглядит еще убедительнее. Согласно ему, должен существовать первотворец. К примеру, представьте себе, что вы идете по пескам Марса, где ветер и пыльные бури создают и горы, и гигантские кратеры.

За десятки миллионов лет выветриванию и коррозионному воздействию песчаных бурь подверглось все вокруг. Вдруг, к своему изумлению, вы находите на песчаной дюне красивый фотоаппарат. Объектив идеально отполирован, прекрасно сработан механизм затвора. Разумеется, вы подумаете, что пески Марса никак не могли создать такое искусное произведение. И вы приходите к выводу, что фотоаппарат сделан неким существом, обладающим интеллектом. Затем, побродив по Марсу еще некоторое время, вы встречаете кролика. Безусловно, глаз кролика устроен несравненно сложнее, чем объектив фотоаппарата. Мышцы кроличьего глаза совершают гораздо более замысловатые действия, чем затвор фотоаппарата. Следовательно, создатель кролика должен быть бесконечно более развитым, чем создатель фотоаппарата. Значит, его сотворил Бог.

А теперь представим себе технику на Земле. Не вызывает никаких сомнений, что эти машины созданы кем-то превосходящим их самих, например человеком. Бесспорно и то, что человек устроен бесконечно сложнее машины. Следовательно, тот, кто создал человека, должен быть гораздо совершеннее его. Значит, должен существовать Бог.

В 1078 г. архиепископ Кентерберийский Ансельм предложил, вероятно, самое изощренное доказательство существования Бога — *онтологический аргумент*, никак не зависящий от перводвигателей и первотворцов. Святой Ансельм утверждал, что может доказать существование Бога с помощью одной только логики. Он определил Бога как самое совершенное и могущественное существо, какое только можно вообразить. Но представить себе можно два типа Бога. Первого воображаемого нами Бога не существует. Второй воображаемый Бог действительно существует и может творить чудеса: например, приказывать расступиться водам и воскрешать из мертвых. Очевидно, второй Бог (существующий) гораздо могущественнее и совершеннее первого (несуществующего).

Однако мы дали определение Богу как самому совершенному и могущественному существу, какое только можно вообразить. По определению, второй Бог (существующий) — более

могущественный и совершенный. Следовательно, определению соответствует этот второй. Первый Бог (несуществующий) не настолько всесилен и совершенен, как второй, значит, он не соответствует определению Бога. Отсюда следует, что Бог должен существовать. Другими словами, если под Богом мы подразумеваем «существо не более великое, чем можно себе представить», тогда Бог должен существовать, потому что если его не существует, значит, можно представить себе гораздо более великого и при этом существующего Бога. Это довольно оригинальное доказательство, в отличие от доводов Фомы Аквинского, не имеет никакого отношения к акту сотворения и опирается только на определение совершенного существа.

Примечательно, что эти «доказательства» существования Бога продержались более 700 лет, несмотря на неоднократные нападки ученых и логиков. Причина в том, что человечество имело недостаточное представление о фундаментальных законах физики и биологии. По сути дела, лишь в прошлом веке были открыты новые законы природы, которые помогли выявить потенциальные изъяны в этих доказательствах.

К примеру, недостаток космологического доказательства в том, что закона сохранения массы и энергии достаточно, чтобы объяснить движение без перводвигателя. Так, молекулы газа могут ударяться о стенки сосуда, при этом не требуется, чтобы кто-либо или что-либо приводило их в движение. В принципе, эти молекулы способны перемещаться вечно, этому движению не обязательно иметь начало и конец. Таким образом, нет никакой необходимости в первом или последнем двигателе — до тех пор, пока наблюдается сохранение массы и энергии.

Что касается телеологического доказательства, то теория эволюции свидетельствует о том, что высшие и более сложные формы жизни могут развиваться из примитивных путем естественного отбора и по воле случая. В конечном итоге мы можем проследить развитие самой жизни в обратном порядке вплоть до спонтанного образования молекул белка в первичном океане на Земле, не обращаясь к высшему разуму.

Исследования, предпринятые Стэнли Миллером в 1955 г., показали, что искры, проходящие через сосуд с метаном, аммиаком и другими газами, содержащимися в атмосфере Земли на ранних этапах ее существования, способны спонтанно образовывать сложные молекулы углеводорода и в конечном итоге аминокислоты (предшественники молекул белка) наряду со сложными органическими молекулами. Таким образом, не требуется первотворец, чтобы создать все необходимое для жизни, которая, по-видимому, может естественным образом возникнуть из неорганических химических веществ по прошествии достаточного времени.

И наконец, после столетий путаницы Иммануил Кант первым усмотрел ошибку в онтологическом доказательстве. Как отмечал Кант, утверждение, что какой-либо объект существует, еще не делает его более совершенным. К примеру, к тому же аргументу можно прибегнуть с целью доказательства существования единорога. Если дать единорогу определение как самой совершенной лошади, какую только можно себе вообразить, и если единорогов не существует, значит, можно вообразить единорога, который существует. Но утверждение, что он существует, еще не означает, что он совершеннее несуществующих единорогов. Следовательно, единорогам вовсе не обязательно существовать. Как и Богу.

Добились ли мы какого-нибудь прогресса со времен святого Фомы Аквинского и Ансельма?

И да, и нет. Можно сказать, что нынешние теории сотворения покоятся на двух столпах: квантовой теории и гравитационной теории Эйнштейна. Можно утверждать, что впервые за тысячелетие религиозные «доказательства» существования Бога заменены нашим пониманием законов термодинамики и физики частиц. Но заменив божий акт творения Большим взрывом, мы переключились с одной проблемы на другую. Фома Аквинский считал, что решил вопрос о том, что было до Бога, охарактеризовав его как перводвигатель. А мы до сих пор ломаем голову над вопросом о том, что было до Большого взрыва.

К сожалению, формулы Эйнштейна неприменимы для чрезвычайно малых расстояний и огромных энергий, характерных для момента зарождения Вселенной. При расстояниях порядка 10^{-33} см эстафету теории Эйнштейна принимают квантовые эффекты. Таким образом, для разрешения философских вопросов, относящихся к началу времен, нам неизбежно приходится обращаться к десятимерной теории.

На протяжении всей книги мы подчеркивали, что, когда добавляются высшие измерения, законы физики объединяются. При изучении Большого взрыва мы наблюдаем прямо противоположное явление. Как мы увидим, Большой взрыв, вероятно, возник при распаде изначальной десятимерной Вселенной на четырех- и шестимерную. Таким образом, историю Большого взрыва можно рассматривать как историю распада десятимерного пространства, а значит, разрушения прежней единой симметрии. А это, в свою очередь, — тема данной книги, только в обратном порядке.

Значит, неувидительны и трудности, связанные с воссозданием динамики Большого взрыва. В сущности, обращаясь к прошлому, мы повторно собираем фрагменты десятимерной Вселенной.

Экспериментальные свидетельства Большого взрыва

С каждым годом мы получаем все больше экспериментальных свидетельств тому, что Большой взрыв произошел примерно 15–20 млрд лет назад. Обратимся к некоторым результатам этих экспериментов.

Во-первых, тот факт, что звезды удаляются от нас с невероятной скоростью, неоднократно подтвержден путем измерения искажений их света (благодаря так называемому «красному смещению»). (Линии в спектре света удаляющейся звезды смещаются в длинноволновую, или красную, часть спектра. Так, гудок поезда звучит выше, когда поезд приближается,

и ниже, когда он удаляется. Это явление называется эффектом Доплера. Кроме того, закон Хаббла гласит: чем дальше от нас звезда или галактика, тем быстрее она отдаляется от нас. Этот факт, впервые объявленный астрономом Эдвином Хабблом в 1929 г., за последние 50 лет был подтвержден экспериментальным путем.) Мы не видим синего смещения далеких галактик, которое означало бы сжатие Вселенной.

Во-вторых, мы знаем, что распределение химических элементов в нашей галактике почти точно соответствует прогнозам по образованию тяжелых элементов при Большом взрыве и в звездах. При изначальном Большом взрыве невероятно высокие температуры привели к тому, что ядра элементарного водорода сталкивались друг с другом при достаточно больших скоростях, способных привести к слиянию, в итоге возникал новый элемент — гелий. Согласно теории Большого взрыва, соотношение гелия к водороду во Вселенной должно составлять примерно 25% гелия и 75% водорода. Это соответствует результатам, полученным путем наблюдения и свидетельствующим об изобилии гелия во Вселенной.

В-третьих, древнейшие объекты Вселенной датированы периодом давностью 10–15 млрд лет в соответствии с приблизительными оценками для Большого взрыва. Мы не видим никаких свидетельств тому, что существуют объекты, возникшие еще до Большого взрыва. Поскольку распад радиоактивных веществ (к примеру, посредством слабого взаимодействия) происходит с точно известной скоростью, можно определить возраст объекта, подсчитав относительное содержание конкретных радиоактивных веществ. К примеру, каждые 5730 лет распадается половина радиоактивного углерода-14, что дает нам возможность определить возраст археологических находок, содержащих углерод. Другие радиоактивные элементы (такие как уран-238 с периодом полураспада свыше 4 млрд лет) позволяют определить возраст лунных пород (собранных при выполнении программы «Аполлон»). Возраст древнейших горных пород и метеоритов, найденных на Земле, составляет примерно 4–5 млрд лет, т. е. приблизительно равен

возрасту Солнечной системы. Путем вычисления массы конкретных звезд, эволюция которых известна, можно продемонстрировать, что возраст древнейших звезд в нашей галактике составляет примерно 10 млрд лет.

В-четвертых, и это самое важное, Большой взрыв вызвал «космическое эхо», раскатившееся по всей Вселенной, которое можно измерить нашими приборами. Арно Пензиас и Роберт Уилсон из компании Bell Telephone Laboratories в 1978 г. удостоились Нобелевской премии за обнаружение эха Большого взрыва — микроволнового фонового излучения, которое пронизывает всю известную Вселенную. Факт распространения эха Большого взрыва по прошествии миллиардов лет после самого взрыва впервые был предсказан Георгием Гамовым и его учениками Ральфом Альфером и Робертом Германом, однако никто не принял это всерьез. Сама идея измерения отголосков сотворения казалась нелепостью, когда впервые была предложена вскоре после Второй мировой войны.

Однако логика авторов идеи выглядела весьма убедительно. Любой нагретый объект постепенно распространяет излучение. По этой причине железо в печи раскаляется докрасна. Чем горячее железо, тем выше частота его излучения. Точная математическая формула, закон Стефана–Больцмана, связывает световую (или в данном случае цветовую) частоту с температурой. (Именно так ученые определяют температуру на поверхности далекой звезды — изучая ее цвет.) Такое излучение называется *излучением абсолютно черного тела*.

Когда железо остывает, частота его излучения снижается до тех пор, пока железо не перестает давать излучение в видимом диапазоне. Оно приобретает свой обычный цвет, но от него исходит невидимое инфракрасное излучение. Благодаря ему действуют в темноте армейские бинокли ночного видения. По ночам сравнительно теплые объекты, такие как солдаты противника или двигатели танков, невидимы в темноте, тем не менее они распространяют невидимое излучение абсолютно черного тела в виде инфракрасного излучения, которое можно заметить с помощью специальных инфракрасных

очков. По той же причине автомобиль с плотно закрытыми дверями нагревается летом. Солнце проникает сквозь стекла в окнах автомобиля и нагревает его изнутри. В итоге автомобиль начинает испускать излучение абсолютно черного тела в виде инфракрасного излучения. Но инфракрасное излучение слабо проникает сквозь стекло, поэтому остается внутри машины и резко повышает температуру в ней. (Подобным образом излучение абсолютно черного тела обуславливает и парниковый эффект. Повышенное содержание углекислого газа в атмосфере, вызванное сжиганием природного ископаемого топлива, действует как стекло, преграждая путь инфракрасному излучению Земли, в итоге планета постепенно нагревается.)

Гамов рассудил, что поначалу Большой взрыв был чрезвычайно интенсивным, поэтому его можно считать идеальным источником черного тела. В 40-х гг. XX в. техника была слишком примитивной, чтобы поймать слабый отзвук сотворения, однако Гамов сумел вычислить температуру этого излучения и с уверенностью предсказать, что когда-нибудь наши приборы приобретут достаточную чувствительность для выявления «реликтовых» излучений. Логика его рассуждений была такова: примерно через 300 тысяч лет после Большого взрыва Вселенная остыла до такой степени, что атомы смогли начать конденсироваться; электроны принялись окружать протоны, образуя устойчивые атомы, которые уже не разрушались под интенсивным воздействием излучения, пронизывающего Вселенную. До этого момента Вселенная была настолько раскалена, что излучение разрывало атомы сразу же после их образования. Это означало, что Вселенная была непрозрачной, как густой, поглощающий свет и непроницаемый туман. Но по прошествии 300 тысяч лет излучение уже не имело такой силы, чтобы разрушать атомы, поэтому свет преодолевал огромные расстояния, не рассеиваясь. Иными словами, через 300 тысяч лет Вселенная вдруг стала черной и прозрачной. (Мы так привыкли к выражению «чернота космоса», что забыли о том, что ранняя Вселенная была совсем не прозрачной, а наполненной вихревым непрозрачным излучением.)

Прошло 300 тысяч лет, электромагнитное излучение взаимодействовало с материей уже гораздо слабее, следовательно, стало излучением абсолютно черного тела. По мере остывания Вселенной частота этого излучения постепенно снижалась. Гамов и его ученики подсчитали, что это излучение гораздо слабее инфракрасного и относится к микроволновому диапазону. Гамов пришел к следующему выводу: исследуя небеса в поисках постоянного изотропного источника микроволнового излучения, можно выявить это микроволновое излучение и уловить эхо Большого взрыва.

О предсказании Гамова не вспоминали много десятилетий, до тех пор пока в 1965 г. случайно не было открыто микроволновое фоновое излучение. Включив новую рупорно-параболическую антенну в Холмделе, Нью-Джерси, Пензиас и Уилсон обнаружили, что все пространство пронизано неким таинственным фоновым излучением. Поначалу они решили, что нежелательное излучение вызвано электростатическими помехами от загрязнений: например, от птичьего помета на их антенне. Но после демонтажа и чистки больших модулей антенны выяснилось, что «статика» устояла. В то же время физики из Принстонского университета Роберт Дикке и Джеймс Пиблс задумались над давними расчетами Гамова. Когда Пензиасу и Уилсону наконец сообщили о работе принстонских ученых, стало ясно, что между результатами, полученными обеими группами, есть прямая связь. Говорят, когда физики поняли, что фоновое излучение может оказаться эхом изначального Большого взрыва, то воскликнули: «Либо мы видели кучу птичьего дерьма, либо сотворение Вселенной!» Они убедились, что постоянное фоновое излучение почти точно соответствует предсказаниям, сделанным много лет назад Георгием Гамовым и его коллегами для случая, если от Большого взрыва действительно сохранился остаточный слой излучения, остывшего до 3 К^* .

* Один Кельвин и один градус Цельсия равны по значимости и соотносятся так: $1\text{ К} = 1\text{ }^\circ\text{С} + 273,15$. — *Прим. ред.*

COBE и Большой взрыв

Вероятно, наиболее эффектное научное подтверждение теории Большого взрыва получила в 1992 г. благодаря данным спутника COBE (Cosmic Background Explorer — Исследователь космического фона). 23 апреля газеты всей страны возвестили об открытиях группы ученых из Калифорнийского университета в Беркли во главе с Джорджем Смутом, объявивших о самом впечатляющем и убедительном доводе в пользу теории Большого взрыва. Журналисты и колумнисты, не располагающие знаниями в области физики или богословия, внезапно принялись расточать красноречие, разглагольствуя о «лице Бога».

Спутник COBE мог существенно улучшить более раннюю работу Пензиаса, Уилсона, Пиблса и Дикке и получить величины, достаточные для исключения любых сомнений в том, что найдено действительно реликтовое излучение Большого взрыва. Специалист по космологии из Принстона Иеремия Острайкер объявил: «Когда среди горных пород были найдены окаменелости, происхождение видов стало бесспорным. А теперь COBE нашел свои “окаменелости”»². Запущенный в конце 1989 г. спутник COBE предназначался для анализа мельчайших деталей структуры микроволнового фонового излучения, идею которого впервые выдвинули Георгий Гамов и его коллеги. На COBE была возложена и еще одна, новая задача: разрешить проблему, возникшую в связи с фоновым излучением.

Исходная работа Пензиаса и Уилсона была незавершенной, они могли показать только, что равномерность фонового излучения выросла на 10%. Когда же ученые подробно проанализировали фоновое излучение, то обнаружили, что оно исключительно равномерно — без видимых всплесков и отклонений. На самом деле оно было *чересчур* равномерным. Фоновое излучение напоминало однородный незримый туман, наполняющий Вселенную, настолько единообразный, что ученые с трудом примирили этот факт с известными астрономическими данными.

В 1970-х гг. астрономы с помощью огромных телескопов занялись систематическим составлением карт гигантских скоплений галактик на обширных участках неба. И с изумлением обнаружили, что по прошествии миллиарда лет после Большого взрыва во Вселенной уже действовала характерная модель образования отдельных галактик и даже крупных скоплений галактик, а также громадных пустот — войдов. Скопления были обширными, содержали миллиарды галактик, а войды простирались на миллионы световых лет.

И здесь таилась космическая загадка: если Большой взрыв отличался исключительной равномерностью и единообразием, тогда один миллиард лет — недостаточно продолжительный период для формирования скоплений галактик, которые мы наблюдаем. Явное несоответствие между изначальной однородностью Большого взрыва и неоднородностью Вселенной миллиард лет спустя — проблема, которая не давала покоя космологам, заставляя их всех ломать голову. Проблему представляла не теория Большого взрыва как таковая, а наши представления об эволюции уже после Большого взрыва, через один миллиард лет после сотворения. Но без высокочувствительных спутников, способных измерить космическое фоновое излучение, проблема сохраняла остроту на протяжении многих лет. К 1990 г. журналисты, не имеющие серьезной научной подготовки, принялись публиковать сенсационные статьи, в которых ошибочно утверждали, что ученые нашли роковую ошибку в самой теории Большого взрыва. Многие журналисты писали, что теория Большого взрыва вскоре будет опровергнута. В прессе начали всплывать давно дискредитированные альтернативы теории Большого взрыва. Даже газета *The New York Times* опубликовала большую статью, в которой утверждалось, что теория Большого взрыва столкнулась с серьезными затруднениями (что неверно с научной точки зрения).

Благодаря этой псевдодискуссии вокруг теории Большого взрыва усилился интерес к обнародованию данных, полученных спутником COBE. С небывалой скрупулезностью выявляя отклонения в пределах одной сотысячной, спутник

COBE сканировал небо и передавал по радиосвязи самую точную из существующих карту космического фонового излучения. Результаты COBE подтвердили теорию Большого взрыва и не только.

Однако проанализировать данные COBE было непросто. Группа ученых во главе со Смутом столкнулась с чудовищными проблемами. К примеру, надо было исключить в расчетах влияние движения Земли на фоновое излучение. Солнечная система движется со скоростью 370 км/сек по отношению к фоновому излучению. Кроме того, Солнечная система перемещается относительно галактики, а сама галактика совершает сложное перемещение относительно скоплений других галактик. Тем не менее после доскональной модернизации компьютерных программ анализ дал несколько поразительных результатов. Во-первых, реликтовое, или микроволновое, фоновое излучение соответствовало ранним прогнозам Георгия Гамова (скорректированным благодаря уточненным экспериментальным данным) с отклонением не более 0,1% (рис. 9.1). Сплошной линией на рисунке обозначены прогнозы, крестиками — точки, данные для которых получены спутником COBE. Когда эта кривая впервые возникла на экране во время встречи примерно тысячи астрономов, присутствующие встали и устроили овацию. Возможно, впервые в истории науки простой график вызвал столь бурные аплодисменты такого большого числа видных ученых.

Во-вторых, команда Смута сумела доказать присутствие в микроволновом фоновом излучении крохотных, почти микроскопических всплесков. Именно эти всплески помогли объяснить скопления и войды, найденные через миллиард лет после Большого взрыва. (Если бы спутник COBE не обнаружил никаких всплесков, тогда анализ событий, произошедших после Большого взрыва, пришлось бы всесторонне пересмотреть.)

И в-третьих, результаты согласовывались с так называемой теорией космической инфляции, но не доказывали ее. (Эта теория, предложенная Аланом Гутом из Массачусетского техно-

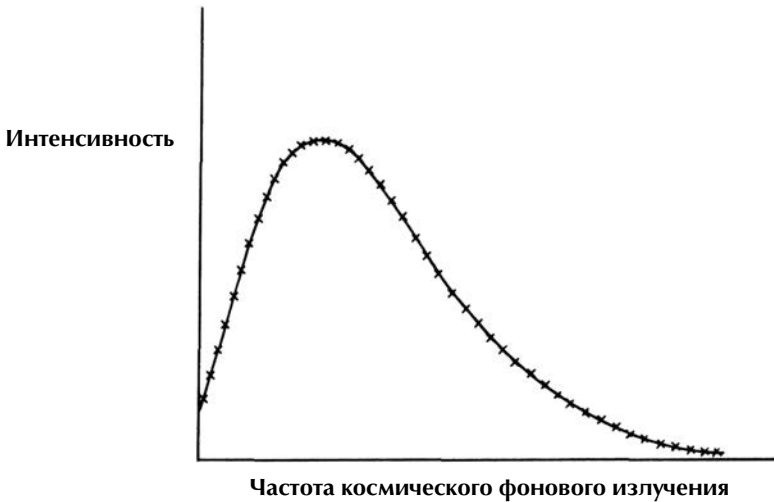


Рис. 9.1. Сплошной линией показан прогноз по теории Большого взрыва, согласно которому фоновое космическое излучение должно напоминать излучение абсолютно черного тела в микроволновом диапазоне. Крестиками обозначены точки, которые построены по данным, полученным спутником COBE, и служат нам самым убедительным подтверждением теории Большого взрыва

логического института, гласит, что взрывное расширение Вселенной в первый момент сотворения значительно превосходило стандартное, соответствующее модели Большого взрыва; согласно этой теории Вселенная, которую мы видим в телескопы, — лишь крохотная частица гигантской Вселенной с границами, находящимися далеко за пределами нашей видимости.)

До сотворения: орбиобразии?

Результаты, полученные со спутника COBE, позволили физикам с уверенностью утверждать, что им понятно происхождение Вселенной вплоть до малой доли секунды после Большого взрыва. Но нас по-прежнему ставят в тупик вопросы о том, что предшествовало Большому взрыву и почему он произо-

шел. Общая теория относительности дает в конечном итоге бессмысленные результаты. Поняв, что общая теория относительности просто не работает при очень малых расстояниях, Эйнштейн пытался расширить теорию до более всеобъемлющей, способной объяснить этот феномен.

Мы полагаем, что в момент Большого взрыва преобладающей силой, превосходящей гравитацию, являются квантовые эффекты. Следовательно, ключ к истокам Большого взрыва — квантовая теория гравитации. На данный момент единственная теория, претендующая на разрешение загадки событий, предшествующих Большому взрыву, — десятимерная теория суперструн. В настоящее время ученые строят догадки о том, как десятимерная Вселенная разделилась на четырех- и шестимерную. Как выглядит Вселенная, парная нашей?

Один из физиков, занятых поиском ответов на эти космические вопросы, — Камран Вафа, гарвардский профессор, потративший несколько лет на изучение возможного процесса разделения нашей десятимерной Вселенной на две вселенных меньшего размера. Парадокс, но сам Вафа тоже разрывается между двумя мирами: он живет в Кембридже, Массачусетс, но родом из Ирана, откуда был вынужден уехать в связи с политическими катаклизмами последнего десятилетия. С одной стороны, он мечтает в конце концов вернуться на родину, в Иран, — возможно, после того как прекратятся гражданские волнения. С другой стороны, исследования уведут его от этого очага напряженности к дальним границам шестимерного пространства, к тому моменту, когда существование Вселенной, охваченной хаосом, еще не успело стабилизироваться.

«Представим себе простую видеоигру», — предлагает Вафа. Ракета может перемещаться по экрану, пока не достигнет правого края. Всякий любитель видеоигр знает, что после этого ракета внезапно появляется с левого края экрана точно на такой же высоте. А если ракета залетит слишком далеко и уйдет за границу нижнего края экрана, то вновь материализуется в его верхней части. Таким образом, объясняет Вафа,

на этом экране — полностью замкнутая вселенная. Вы никогда не покидаете вселенную, ограниченную экраном. Однако большинство подростков не задается вопросом о том, какую форму на самом деле имеет вселенная. Вафа указывает на удивительный факт: топологически экран устройства для видеоигр — внутренняя поверхность трубы!

Представим себе экран в виде листа бумаги. Поскольку углы в верхней части экрана идентичны углам в нижней части, можно склеить вместе верх и низ экрана. Мы свернули лист бумаги в трубку. Углы правого края трубки точно такие же, как углы левого края. Единственный способ соединить два конца получившейся трубки — осторожно согнуть ее в кольцо и склеить открытые концы вместе (рис. 9.2).

Мы превратили лист бумаги в фигуру, похожую на бублик. Можно сказать, что ракета, перемещающаяся по экрану в видеоигре, движется по внутренней поверхности трубки. Всякий раз, когда ракета исчезает с экрана и вновь появляется с другой стороны, это соответствует пересечению ракетой склеенного стыка внутри трубки.

Вафа предполагает, что сестра нашей Вселенной имеет форму своего рода искривленного шестимерного тора. Вафа и его коллеги первыми выдвинули предположение, согласно которому сестру нашей Вселенной можно описать так называемым *орбиобразием*. По сути дела, предположение, что топология этой Вселенной-сестры — орбиобразии, вполне соответствует данным наблюдений³.

Представить себе орбиобразии поможет перемещение на 360° по кругу. Ясно, что в результате такого движения мы вернемся в исходную точку. Другими словами, если мы протанцуем круг 360° в хороводе, то вернемся к тому же месту, с которого начали. Но если в орбиобразии мы проделаем путь менее 360° , то все равно вернемся в исходную точку. Это утверждение может показаться абсурдным, тем не менее сконструировать орбиобразии легко. Представьте себе флатландцев, живущих на конусе. Если они проделают путь менее 360° вокруг вершины конуса, то придут в исходную точку. Таким

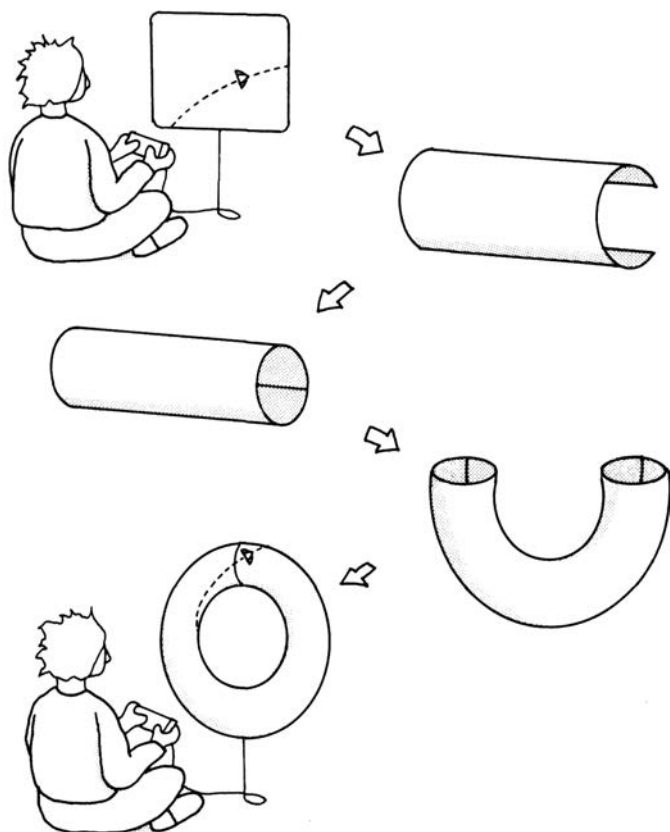


Рис. 9.2. Если ракета в видеоигре исчезает за правым краем экрана, то снова появляется слева. Если она исчезает за верхним краем, то снова появляется снизу. Теперь свернем экран так, чтобы совместить идентичные углы. Сначала совместим верхние и нижние края, свернув экран в трубку. Затем совместим левую и правую стороны, согнув трубку. Таким образом, можно продемонстрировать, что экран в видеоигре с топологической точки зрения представляет собой бублик

образом, орбиобразии — многомерное обобщение конуса (рис. 9.3).

Для того чтобы прочувствовать орбиобразии, представьте себе флатландцев, живущих на Z-орбиобразии, с поверхностью как у четырехугольного кресла-мешка (такие можно увидеть на карнавалах и сельских ярмарках). Поначалу

кажется, что они живут точно так же, как в Флатландии. Но, исследуя поверхность, флатландцы наверняка начнут замечать странные явления. К примеру, если кто-то из них долго идет в каком-либо направлении, то возвращается в исходную точку, словно описав круг. Кроме того, флатландцы заметили странности, связанные с некоторыми точками их Вселенной (четырьмя углами кресла-мешка). Обогнув любой из этих

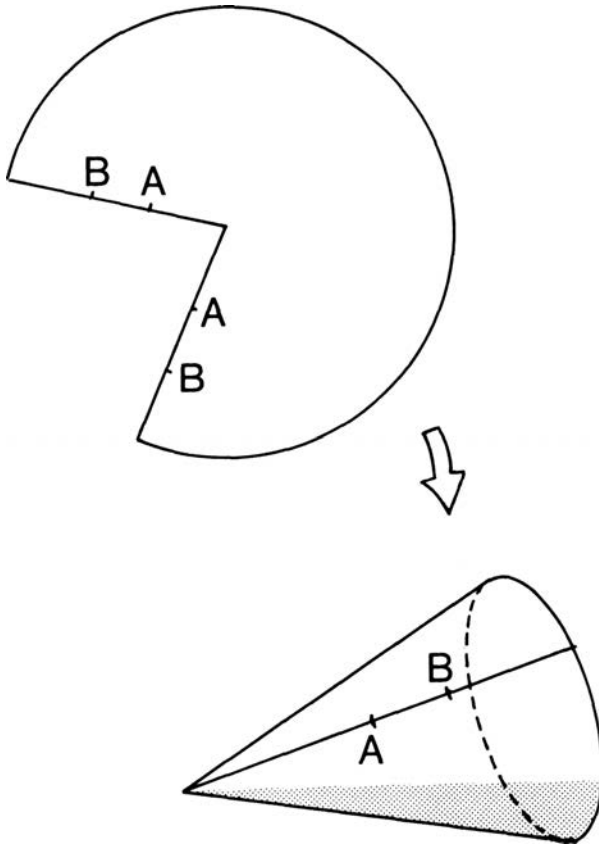


Рис. 9.3. Если мы соединим точки *A* и *B*, то получим конус — простейший пример орбиобразия. В теории струн наша четырехмерная Вселенная может иметь шестимерную пару с топологией орбиобразия. Однако шестимерная Вселенная так мала, что не поддается непосредственному наблюдению

четырёх углов на 180° (а не на 360°), они возвращались в то же место, с которого начали движение.

Орбиобразии Вафы примечательно тем, что всего при нескольких допущениях можно вывести многочисленные особенности кварков и других субатомных частиц. (Это происходит потому, что, как мы уже видели, геометрия пространства согласно теории Калуцы–Клейна вынуждает кварки принимать симметрию этого пространства.) Это придает нам уверенности, свидетельствует о том, что мы на верном пути. Если бы орбиобразии давало совершенно бессмысленные результаты, тогда интуиция подсказывала бы нам, что эта конструкция в корне ошибочна.

Если ни одно решение для теории струн не содержит Стандартную модель, тогда нам следует отвергнуть теорию суперструн, как очередную многообещающую, но неверную теорию. Однако физиков взбудоражила сама возможность получить решения, так заманчиво близкие к Стандартной модели.

Математики изучают свойства своеобразных поверхностей в высших измерениях 80 лет — с тех пор как французский математик Анри Пуанкаре в начале XX в. поднял вопрос топологии. Таким образом, десятимерная теория способна вобрать в себя немалую часть современной математики, которая прежде казалась практически бесполезной.

Почему три поколения?

Для объяснения, почему существуют три семейства частиц, используются, в частности, математические теоремы, накопленные математиками за прошедшее столетие. Как мы видели ранее, злополучная особенность теорий Великого объединения заключается в наличии трех идентичных семейств кварков и лептонов. Однако орбиобразии способны объяснить это сомнительное свойство теорий Великого объединения⁴.

Вафа и его коллеги обнаружили для уравнений струн немало перспективных решений, которые выглядят соответствующе-

щими материальному миру. В сущности, при поразительно малом количестве допущений они могут заново вывести Стандартную модель — для теории это важный шаг. По сути дела, это и сильная, и слабая сторона теории суперструн. Вафа и его коллеги в каком-то смысле переусердствовали: нашли миллионы прочих возможных решений для струнных уравнений.

Основная проблема, с которой столкнулась теория суперструн, заключается в следующем: *неизвестно, какая из миллионов возможных вселенных, которые можно математически образовать с помощью теории суперструн, окажется верной*. Как сказал Дэвид Гросс, «существуют миллионы миллионов решений с тремя пространственными измерениями. Возможных классических решений невообразимое множество... Все это изобилие поначалу внушало радость, так как доказывало, что теория, подобно гетеротической струне, может выглядеть очень похожей на реальный мир. Помимо четырех пространственно-временных измерений эти решения обладают многими другими свойствами, характерными для нашего мира, — надлежащими видами частиц, такими как кварки и лептоны, подходящими видами взаимодействий... Все они два года назад вызывали воодушевление»⁵.

Гросс предупреждает: хотя некоторые из этих решений очень близки к Стандартной модели, другие дают нежелательные физические свойства: «Несколько смущает то, что при обилии возможных решений у нас нет надежного способа делать выбор среди них. Вдобавок к многочисленным желательным свойствам эти решения имеют несколько потенциально катастрофических свойств»⁶. Непосвященный, услышав об этом впервые, наверняка озадачится и спросит: почему бы не произвести вычисления и не посмотреть, какое решение предпочтительно для струны? Поскольку теория струн четко определена, недоумение вызывает то, что физики не в состоянии вычислить ответ.

Проблема в том, что теория возмущений, один из главных инструментов в физике, в данном случае бесполезна. Теория

возмущений (которая учитывает все более малые квантовые поправки) не в состоянии разложить десятимерную теорию на четыре и шесть измерений. Так что мы вынуждены пользоваться непертурбативными методами, печально известными своей сложностью в применении. По этой причине мы и не можем найти решение для теории струн. Как уже говорилось ранее, струнная теория поля, разработанная мной и Кикава и усовершенствованная Виттенем, в настоящее время несовместима с непертурбативными методами. Настолько умных не нашлось.

Однажды моим соседом был аспирант-историк. Помню, как-то раз он предостерег меня, сказав, что компьютерная революция в конце концов может лишить физиков работы: «Ведь компьютер может вычислить что угодно, верно?» С его точки зрения, это был лишь вопрос времени: математики заложат все вопросы физики в компьютер, и физики выстроятся в очередь на биржу труда.

Этим замечанием он огорошил меня, так как для физика компьютер — не что иное, как усовершенствованный арифмометр, безупречный и безмозглый. Недостаток интеллекта он возмещает скоростью. Надо заложить теорию в компьютер, прежде чем он сможет провести вычисления. Разрабатывать новые теории самостоятельно компьютер не в состоянии.

Мало того, даже если теория известна, компьютеру может потребоваться бесконечно долгое время для решения задачи. В сущности, вычисления, относящиеся к вопросам, которые представляют наибольший интерес для физиков, занимают уйму компьютерного времени. В этом и заключается проблема с теорией струн. Хотя Вафа и его коллеги предложили миллионы возможных решений, понадобилось бы бесконечное количество времени, чтобы определить, какой из миллиона возможных вариантов верен, или же выполнить для квантовых задач вычисления, в которые входит замысловатый процесс туннелирования — один из квантовых феноменов, представляющих особую трудность при расчетах.

Туннелирование в пространстве и времени

В конечном счете мы задаемся тем же вопросом, что и Калуца в 1919 г., — куда девалось пятое измерение? — только на более высоком уровне. Как указывал Клейн в 1926 г., ответ на этот вопрос имеет отношение к квантовой теории. Туннелирование — возможно, самое поразительное (и сложное) явление в ней.

К примеру, сейчас я сижу в кресле. Представлять себе, как мое тело вдруг проходит между молекулами ближайшей стены и вновь становится единым целым в чужой гостиной, довольно неприятно. К тому же это маловероятно. А квантовая механика утверждает, что существует конечная вероятность (хоть она и мала), что даже самые невероятные, немыслимые события — например, проснувшись однажды утром, обнаружить свою кровать посреди джунглей Амазонки — на самом деле произойдут. Любые события, независимо от их правдоподобия, квантовая теория сводит к вероятностям.

Туннелирование — процесс, название которого звучит так, словно относится не к науке, а к научной фантастике. Однако туннелирование можно количественно оценить в лаборатории, и, в сущности, оно решает загадку радиоактивного распада. Обычно ядро атома стабильно. Протоны и нейтроны в ядре удерживает вместе сила ядерного взаимодействия. Однако остается малая вероятность, что ядро распадется и протоны и нейтроны в процессе туннелирования преодолеют серьезный энергетический барьер — силу ядерного взаимодействия, которая не дает ядру распасться. Обычно мы считаем любое ядро атома стабильным. Но неоспоримо, что ядра атомов урана распадаются, когда не должны бы; закон сохранения энергии на краткое время нарушается, когда нейтроны ядра пробиваются через барьер.

Подвох в том, что эти вероятности исчезающе малы для таких крупных объектов, как люди. Вероятность нашего туннелирования сквозь стену при жизни известной нам Вселенной бесконечно мала. Таким образом, я могу быть спо-

коен, что мне не грозит неприличное проникновение сквозь стену — по крайней мере при нынешней моей жизни. Наша Вселенная, которая поначалу могла быть десятимерной, тоже нестабильна; она туннелировала и со взрывом разделилась на четырех- и шестимерную вселенные.

Для того чтобы понять, как происходит такое туннелирование, представьте себе несуществующий фильм с Чарли Чаплином, в котором его герой пытается застелить простыней огромную кровать. Такая натяжная простыня с резинками. Однако она слишком мала, и герою приходится натягивать эластичные резинки на углы матраса по очереди. Наконец герой довольно улыбается: простыня расправлена и закреплена по всем четырем углам кровати. Но натяжение слишком велико, одна резинка соскакивает со своего угла, простыня скручивается. В досаде герой Чаплина натягивает соскочившую резинку на соответствующий угол, но в этот момент соскакивает другая резинка. Всякий раз, когда Чаплин натянет резинку на один угол, с другого она соскакивает.

Этот процесс называется нарушением *симметрии*. Гладко натянутая простыня обладает высокой степенью симметрии. Кровать можно вертеть вокруг любой оси на 180° , а вид простыни не изменится. Это высокосимметричное состояние называется *ложным вакуумом*. Несмотря на то что ложный вакуум выглядит вполне симметричным, он нестабилен. Простыня не желает оставаться в таком растянутом состоянии. Напряжение слишком велико, уровень энергии чересчур высок. Затем одна резинка соскакивает, и простыня скручивается. Симметрия нарушена, простыня перешла в низкоэнергетическое и менее симметричное состояние. Повернув скрученную простыню на 180° относительно оси, мы уже не получим прежнюю простыню.

А теперь заменим простыню десятимерным пространством-временем, или пространственно-временным континуумом высшей симметрии. В начале времен Вселенная была абсолютно симметрична. Если бы в то время кто-нибудь оказался там, он мог бы свободно и без труда пройти через любое

из десяти измерений. В то время гравитация, а также силы слабого, сильного и электромагнитного взаимодействий были объединены теорией суперструн. Вся материя и взаимодействия были компонентами одного и того же струнного мультиплета. Но эта симметрия просуществовала недолго. Десятимерная Вселенная, несмотря на абсолютную симметричность, была нестабильна, совсем как натянутая простыня, и находилась в состоянии ложного вакуума. Следовательно, туннелирование в низкоэнергетическое состояние было неизбежно. Когда туннелирование наконец произошло, начался фазовый переход, сопровождающийся утратой симметрии.

Поскольку Вселенная начала делиться на четырех- и шестимерную, она уже не была симметричной. Шесть измерений свернулись так, как скручивается простыня, когда одна резинка соскакивает с угла матраса. Но обратите внимание: простыня может скрутиться четырьмя способами в зависимости от того, какой угол соскочит первым. А десятимерная Вселенная способна свернуться миллионами разных способов. Для того чтобы вычислить, какое состояние предпочтительнее для десятимерной Вселенной, необходимо решение для струнной теории поля с помощью теории фазовых переходов — самой трудной задачи квантовой теории.

Нарушение симметрии

В фазовых переходах нет ничего нового. Вспомним хотя бы нашу жизнь. В своей книге «Переходы» (Passages) Гейл Шихи подчеркивает, что жизнь — не постоянный поток впечатлений, как часто кажется, а прохождение нескольких этапов, с характерными для каждого из них конфликтами, которые следует разрешать, и целями, которых необходимо достичь.

Психолог Эрик Эриксон даже выдвинул теорию стадий психологического развития. Каждый этап характеризуется своим главным конфликтом. Когда этот конфликт разрешен должным образом, мы переходим к следующей фазе. Если кон-

фликт не устранен, он выливается в воспалительный процесс и может даже вызывать регрессию и возврат к более раннему периоду. Подобным образом психолог Жан Пиаже продемонстрировал, что психическое развитие в раннем детстве тоже не является постепенным процессом научения, а представляет собой скачкообразное движение к способности мыслить. Если поначалу ребенок перестает искать укатившийся и скрывшийся из виду мяч, потому что не понимает, что объект существует, даже если его не видно, то уже через месяц этот факт станет для ребенка очевидным.

В этом и заключается сущность диалектики. Согласно данному философскому подходу все объекты (люди, газы, Вселенная) проходят ряд стадий. Каждая стадия характеризуется конфликтом двух противоположных сил. Природа конфликта определяет особенности этой стадии. Когда конфликт разрешается, объект переходит к новой стадии, называемой этапом синтеза, где возникают новые противоречия, и процесс возобновляется уже на более высоком уровне.

Философы называют это переходом «количества» в «качество». Небольшие количественные изменения нарастают до тех пор, пока в конце концов не происходит качественный отрыв от прошлого. Эта же теория применима и к обществу. Напряженность в обществе может резко возрастать, как произошло во Франции конца XVIII в. Крестьянам грозила голодная смерть, спонтанно вспыхивали голодные бунты, аристократы скрывались в своих замках. Когда волнения достигли переломного момента, произошел фазовый переход количества в качество: крестьяне вооружились, захватили Париж и штурмовали Бастилию.

Фазовые переходы могут сопровождаться взрывами. К примеру, представьте себе реку, перегороженную плотиной. Водохранилище за плотиной быстро наполняется водой, которая с огромной силой давит на плотину. Из-за нестабильности водохранилище находится в состоянии ложного вакуума. Для воды предпочтительно перейти к истинному вакууму, т. е. прорвать плотину и устремиться вниз по течению, к низко-

энергетическому состоянию. Таким образом, фазовый переход может сопровождаться прорывом плотины с катастрофическими последствиями.

Еще более радикальный пример — атомная бомба. Ложный вакуум соответствует стабильности ядер урана. Хотя ядра атомов урана выглядят стабильными, в них заключена колоссальная взрывная энергия, в миллион раз превосходящая мощность химического взрывчатого вещества. Время от времени ядро туннелирует в низшее состояние: это означает, что ядро самопроизвольно раскалывается. Это явление называется радиоактивным распадом. Но при обстреле ядер урана нейтронами можно высвободить всю сдерживаемую энергию разом. И тогда, конечно, произойдет ядерный взрыв.

Ученые обнаружили новую особенность фазовых переходов: как правило, они сопровождаются нарушением симметрии. Нобелевскому лауреату Абдусу Саламу нравится следующий пример: представьте себе круглый обеденный стол, за которым сидят гости, и у каждого — по обеим сторонам стоят бокалы шампанского. Здесь есть симметрия. Посмотрев на отражение того же обеденного стола в зеркале, мы увидим то же самое: гости сидят вокруг стола, у каждого гостя по обеим сторонам стоят бокалы с шампанским. Подобным образом мы можем повернуть круглый обеденный стол, и расположение объектов останется тем же самым.

А теперь нарушим симметрию. Предположим, что первый гость берет бокал, стоящий справа от него. Следуя обычаю, все остальные гости берут бокалы с шампанским, стоящие справа от них. Отметим, что в зеркале ситуация будет выглядеть иначе: каждый гость возьмет бокал, стоящий слева от него. Значит, лево-правая симметрия нарушена.

Еще один пример нарушения симметрии заимствован из старинной сказки. Ее героиня, принцесса, оказалась в ловушке на вершине гладко отполированного хрустального шара. Никакие решетки не ограничивают ее свободу, но принцесса остается пленницей, потому что, стоит ей пошевелиться, как она соскользнет с шара и погибнет. Множество принцев

пытаются спасти принцессу, но не могут взобраться на шар, потому что он слишком гладкий и скользкий. Это пример нарушения симметрии. Находясь сверху на шаре, принцесса пребывает в состоянии абсолютной симметрии. Для шара нет предпочтительного направления. Можно повернуть шар под любым углом, и ситуация не изменится. Но любое ошибочное движение в сторону от центра приведет к падению принцессы и нарушению симметрии. К примеру, если она упадет в сторону запада, нарушится симметрия вращения. Так выбирается западное направление.

Таким образом, состояние максимальной симметрии тоже часто является нестабильным, значит, соответствует ложному вакууму. Истинный вакуум соответствует падению принцессы с шара. А фазовый переход (падение с шара) — нарушению симметрии (выбору западного направления).

Что касается теории суперструн, физики полагают (пока бездоказательно), что изначальная десятимерная Вселенная была нестабильной и туннелировала в четырех- и шестимерную вселенную. Таким образом, эта исходная Вселенная находилась в состоянии ложного вакуума и максимальной симметрии, а сегодня мы пребываем в нарушенном состоянии истинного вакуума.

Напрашивается тревожный вопрос: что произошло бы, если бы на самом деле наша Вселенная не находилась в состоянии истинного вакуума? Что произойдет, если суперструна лишь на время выберет нашу Вселенную, а истинный вакуум находится среди миллионов возможных орбиобразий? Последствия были бы катастрофическими. Во многих других орбиобразиях мы обнаруживаем, что Стандартная модель отсутствует. Таким образом, если истинный вакуум на самом деле является состоянием, в котором Стандартная модель не присутствует, тогда все законы химии и физики, какие мы знаем, будут низвержены.

Если предположить, что это произойдет, в нашей Вселенной может неожиданно появиться крошечный пузырек. Внутри него Стандартная модель неприменима, поэтому он подчиняется иной совокупности законов физики и химии. Мате-

рия внутри пузырька распадется и, возможно, примет новые формы. Затем пузырек расширится со скоростью света, поглощая целые звездные системы, отдельные галактики и скопления галактик, пока не охватит всю Вселенную.

Мы не увидим, как он приближается. Поскольку он движется со скоростью света, его невозможно наблюдать заранее. Мы не узнаем, какая участь нас постигла.

От кубиков льда к суперструнам

Представим себе обычный кубик льда, лежащий в сковородке у нас на кухне. Все мы знаем, что произойдет, если включить плиту. Но что будет с кубиком льда, если мы нагреем его до триллионов триллионов градусов?

Если нагревать кубик льда на плите, сначала он тает и превращается в воду, а потом происходит фазовый переход. Нагреваем воду, пока она не закипит. Она проходит еще одно фазовое превращение — в пар. Продолжаем нагревать пар до высоких температур. В конце концов молекулы воды распадаются. Энергия молекул превосходит энергию связей между молекулами, которые распадаются на элементарный водород и газообразный кислород.

Продолжаем нагревание, доводим температуру до 3000 К и выше, пока атомы водорода и кислорода не начнут распадаться. Электроны отрываются от ядра, у нас появляется плазма (ионизированный газ), которую часто называют четвертым агрегатным состоянием вещества (после газообразного, жидкого и твердого). Хотя получение плазмы не относится к обыденным впечатлениям, мы видим ее каждый раз, когда смотрим на солнце. В сущности, плазма — самое распространенное состояние материи во Вселенной.

Продолжаем нагревать плазму на плите до 1 млрд кельвинов, пока не начнут распадаться ядра кислорода и водорода. Мы получим «газ» из отдельных нейтронов и протонов, подобный содержимому нейтронной звезды.

Если нагреть нуклонный «газ» еще сильнее, до 10 трлн кельвинов, эти субатомные частицы превратятся в обособленные кварки. У нас получится газ из кварков и лептонов (электронов и нейтрино).

Если мы нагреем этот газ до 1 квадрильона кельвинов, силы электромагнитного и слабого взаимодействия объединятся. При таких температурах возникает симметрия $SU(2) \times U(1)$. При 10^{28} К силы электромагнитного и сильного взаимодействий объединяются, появляются симметрии теорий Великого объединения [$SU(5)$, $O(10)$ или $E(6)$].

Наконец, при баснословных 10^{32} К гравитация объединяется с силой теорий Великого объединения, и появляется вся симметрия десятимерных суперструн. Теперь у нас есть суперструнный газ. К этому моменту в скороварку попадет столько энергии, что геометрия пространства-времени наверняка начнет искажаться, многомерность пространства-времени изменится. Пространство вокруг нашей кухни вполне может стать нестабильным, в структуре пространства может образоваться прореха, в кухне появится «червоточина». В этот момент рекомендуется покинуть кухню.

Остывание после Большого взрыва

Таким образом, нагревая кубик льда до невероятных температур, можно воспроизвести теорию суперструн. Урок заключается в том, что материя проходит определенные стадии развития, пока мы нагреваем ее. И наконец, по мере увеличения энергии симметрия все больше восстанавливается.

Рассматривая этот процесс в обратном порядке, мы можем оценить Большой взрыв как последовательность различных этапов. Вместо того чтобы нагревать кубик льда, теперь охлаждаем сверхгорячее вещество Вселенной, проходя несколько этапов. С момента сотворения мы прошли следующие стадии эволюции Вселенной:

10⁻⁴³ секунд. Десятимерная Вселенная распадается на четырех- и шестимерную. Шестимерная схлопывается до размера 10^{-32} см. Четырехмерная Вселенная стремительно расширяется. Температура 10^{32} К.

10⁻³⁵ секунд. Разрушается взаимодействие теорий Великого объединения; сильное взаимодействие уже не объединено с электромагнитным и слабым. SU(3) отделяется от симметрии теорий Великого объединения. Крошечная песчинка в большей Вселенной увеличивается в 10^{50} раз и в конце концов становится нашей видимой Вселенной.

10⁻⁹ секунд. Температура 10^{15} К, симметрия электромагнитного и слабого взаимодействия распадается на SU(2) и U(1).

10⁻³ секунд. Кварки начинают конденсироваться, образуя нейтроны и протоны. Температура приблизительно 10^{14} К.

3 минуты. Протоны и нейтроны уже сконденсированы и образовали стабильные ядра. Энергии беспорядочных столкновений не хватает для разрушения возникающих ядер. Пространство по-прежнему остается непрозрачным для света, так как ионы недостаточно хорошо переносят его.

300 тыс. лет. Вокруг ядер скапливаются электроны. Начинается образование атомов. Поскольку свет уже не рассеян и не поглощен, Вселенная становится прозрачной для него, а космические пространства — черными.

3 млрд лет. Появляются первые квазары.

5 млрд лет. Появляются первые галактики.

10–15 млрд лет. Рождается Солнечная система. Через несколько миллиардов лет после этого на Земле появляются первые формы жизни.

Почти непостижимым выглядит то, что мы, разумные приматы с третьей планеты в системе мелкой звезды в мелкой галактике, сумели реконструировать историю нашей Вселенной почти с момента ее рождения, когда температура и давление превосходили все величины, которые можно встретить в Солнечной системе. Тем не менее именно эту картину

нам открывает квантовая теория слабого, электромагнитного и сильного взаимодействий.

Какой бы удивительной ни выглядела наша версия сотворения, вероятно, еще удивительнее вероятность, что «червоточины» могут выступать в качестве ворот, ведущих в другие вселенные, а возможно, даже и машин времени, обеспечивающих связь с прошлым и будущим. Вооружившись квантовой теорией гравитации, физики, вероятно, сумеют найти ответ на интригующие вопросы: существуют ли параллельные миры и можно ли изменить прошлое?

ЧАСТЬ III

**«Червоточины»:
ворота в другие вселенные?**

10

Черные дыры и параллельные миры

Слушай, здесь по соседству целая вселенная —
идем же!

Эдвард Каммингс

Черные дыры:
туннели сквозь пространство и время

Черные дыры с недавних пор завладели воображением широкой публики. Исследованию этого странного предположения Эйнштейна, финальной стадии смерти коллапсирующей звезды, посвящены книги и документальные фильмы. Парадокс, но публика по-прежнему не подозревает о самой, пожалуй, необычайной особенности черных дыр — что они могут служить *воротами в другую вселенную*. Более того, в научном сообществе активно высказываются предположения о способности черных дыр открывать туннели во времени.

Для того чтобы понять, что такое черные дыры и как трудно отыскать их, следует сначала выяснить, почему сияют звезды, как они растут и как в конце концов погибают. Звезда рождается, когда огромное облако водорода, размерами многократно превосходящее нашу Солнечную систему, медленно сжимается под действием силы гравитации. Эта сила, сжимающая газ, постепенно нагревает его, поскольку гравитационная энергия преобразуется в кинетическую энергию атомов водорода. В обычных условиях отталкивающего заряда протонов в водо-

роде достаточно, чтобы атомы оставались обособленными. Но в определенный момент, когда температура повышается до 10–100 млн кельвинов, кинетическая энергия протонов (ядер водорода) преодолевает электростатическое отталкивание, и они врезаются друг в друга. Тогда сила ядерного взаимодействия одерживает верх над электромагнитной силой, и два ядра водорода «сливаются», образуя гелий и выделяя огромные количества энергии.

Другими словами, звезда — это ядерная печь, в которой сгорает топливо — водород и образуется ядерная «зола» — отходы в виде гелия. Кроме того, звезда — случай шаткого равновесия между силой гравитации, стремящейся полностью уничтожить звезду, и силой ядерного взаимодействия, обладающей мощностью триллионов водородных бомб, которая стремится разорвать звезду. Расходуя свое ядерное топливо, звезда достигает зрелости и старости.

Для того чтобы понять, как в ходе ядерной реакции выделяется энергия, и выяснить, какие жизненные этапы проходит звезда, прежде чем стать черной дырой, обратимся к рис. 10.1, на котором представлен один из наиболее важных графиков современной науки, иногда называемый *кривой энергии связи*. На горизонтальной оси отражена атомная масса различных элементов — от водорода до урана. На вертикальной оси — грубо говоря, приблизительный средний «вес» каждого протона в ядре. Обратите внимание: протоны водорода и урана в среднем тяжелее, чем протоны других элементов в центре графика.

Наше Солнце — обыкновенная желтая звезда, состоящая главным образом из водорода. Как и при Большом взрыве, в ней из водорода образуется гелий. Но, поскольку протоны водорода тяжелее протонов гелия, возникает избыток массы, который преобразуется в энергию в соответствии с формулой Эйнштейна $E = mc^2$. Эта энергия и связывает ядра вместе. Кроме того, энергия высвобождается при образовании гелия из водорода. Вот почему солнце светит.

Но за миллиарды лет водород постепенно расходуется, в желтой звезде накапливается слишком много гелия, и ядер-



Рис. 10.1. Средняя масса каждого протона менее тяжелых элементов, таких как водород и гелий, сравнительно велика. Таким образом, если в звезде из водорода получается гелий, остается избыток массы, который преобразуется в энергию соответственно формуле Эйнштейна $E = mc^2$. Благодаря этой энергии светят звезды. Но по мере того, как в реакцию вступают все более и более тяжелые элементы, особенно когда дело доходит до железа, получать больше энергии уже не удастся. Тогда звезда схлопывается с гигантским выбросом тепла, в итоге возникает сверхновая. Колоссальный взрыв разрывает звезду и «осеменяет» межзвездное пространство, в котором образуются новые звезды. После этого процесс начинается сначала, как в автомате для игры в пинбол

ная печь прекращает работу. Когда это происходит, гравитация наконец одерживает верх и уничтожает звезду. При резком увеличении температуры звезда раскалется достаточно, чтобы сжечь избыток гелия и преобразовать его в другие элементы, такие как литий и углерод. Обратим внимание, что энергия продолжает выделяться по мере снижения кривой в сторону более тяжелых элементов. Иными словами, горение гелия все еще возможно (точно так же обычная зола при определенных условиях может продолжать гореть). Несмотря на существенное уменьшение размера звезды, ее температура довольно высока, а внешняя оболочка значительно увеличивается в размерах. В сущности, когда наше Солнце исчерпает запасы водорода и начнет сжигать гелий, внешняя оболочка Солнца достигнет орбиты Марса. Возникнет так называемый *красный гигант*. Разумеется, это означает, что в процессе его возникновения Земля превратится в пар. Таким образом, кривая предсказывает окончательную участь Земли. Поскольку возраст нашего Солнца средний, т. е. ему примерно 5 млрд лет, пройдет еще 5 млрд лет, прежде чем оно поглотит Землю. (По иронии судьбы, Земля родилась из того же вихревого газового облака, из которого возникло наше Солнце. В настоящее время физики высказывают предположение, что Земля, созданная вместе с Солнцем, воссоединится с ним.)

И наконец, когда будет израсходован гелий, ядерная печь снова прекратит работу, и гравитация уничтожит звезду. Красный гигант сожмется и станет *белым карликом* — миниатюрной звездой, сократившейся примерно до размеров планеты Земля¹. Белые карлики светят слабо, так как относятся к нижней части кривой, которой соответствует совсем небольшой избыток энергии согласно формуле $E = mc^2$. Белый карлик сжигает то небольшое, что остается на нижней части кривой.

Наше Солнце в конце концов превратится в белого карлика и на протяжении миллиардов лет будет медленно умирать, так как истощит все свои запасы ядерного топлива. В итоге оно станет темной, выгоревшей карликовой звездой. Однако считается, что если звезда обладает достаточной массой (в несколь-

ко раз превышающей массу нашего Солнца), то большинство элементов, содержащихся в белом карлике, будут по-прежнему участвовать в реакциях с образованием все более тяжелых элементов и со временем дело дойдет до железа. Излишки массы уже не будут давать энергии, ядерная печь прекратит работу. Гравитация вновь окажется сильнее и будет сжимать звезду, пока температура не увеличится сразу в тысячу раз, достигая триллионов градусов. В этот момент железное ядро сжимается, а наружная оболочка белого карлика разрушается, процесс сопровождается самым мощным в галактике выбросом энергии и образованием взрывающейся звезды — *сверхновой*. Всего одной сверхновой достаточно, чтобы на время затмить целую галактику со 100 млрд звезд.

После взрыва сверхновой мы обнаруживаем совершенно мертвую звезду — *нейтронную звезду* размером с Манхэттен. Плотность составляющих нейтронной звезды настолько велика, что, грубо говоря, нейтроны «трутся» друг о друга. Хотя нейтронные звезды почти невидимы, их можно обнаружить с помощью приборов. Вращаясь, они распространяют излучение, так что действуют как космические маяки. Мы видим их как мерцающие звезды, или *пульсары*. (Этот сценарий выглядит, как научная фантастика, тем не менее свыше 400 пульсаров было обнаружено с тех пор, как их открыли в 1967 г.)

Компьютерные вычисления показали, что большинство элементов, более тяжелых, чем железо, могут синтезироваться при температурах и давлении, характерных для сверхновой звезды. Когда звезда взрывается, в космический вакуум выбрасывается уйма «звездного мусора», состоящего из тяжелых элементов. Этот «мусор» в итоге смешивается с прочими газами, пока не накопится достаточное количество водорода, чтобы процесс гравитационного сжатия начался опять. Из газопылевых облаков, изобилующих тяжелыми элементами, рождаются звезды второго поколения. Некоторые из этих звезд (такие как наше Солнце) окружены планетами, содержащими тяжелые элементы.

Так разрешается давняя загадка космологии. Наши тела состоят из элементов, более тяжелых, чем железо, но наше Солнце не настолько горячее, чтобы создать такие элементы. Если Земля и атомы нашего тела возникли из того самого газового облака, откуда тогда в нашем теле взялись тяжелые элементы? Вывод однозначен: тяжелые элементы нашего тела были синтезированы в сверхновой звезде, которая взорвалась до появления нашего Солнца. Другими словами, некая безымянная сверхновая звезда взорвалась миллиарды лет назад, породив исходное газовое облако, из которого и образовалась наша Солнечная система.

Эволюцию звезды можно представить в виде автомата для игры в пинбол, как на рис. 10.1, имеющего форму кривой энергии связи. Шар начинает движение сверху, перескакивая от водорода к гелию, от более легких элементов к более тяжелым. При каждом его скачке по кривой появляется звезда другого типа. И наконец, шар достигает нижней части кривой, где находится железо, и в результате взрыва рождается сверхновая звезда. Затем звездное вещество опять собирается в новую звезду, богатую водородом, и процесс «игры в пинбол» возобновляется.

Отметим, однако, что существуют два способа движения шара вниз по кривой. Это движение может начаться с другой стороны кривой, с урана, и достигнуть дна единственным скачком, с расщеплением ядра урана. Поскольку средняя масса протонов таких продуктов деления, как цезий и криптон, меньше средней массы протонов урана, избыток массы преобразуется в энергию согласно формуле $E = mc^2$. Это и есть источник энергии атомной бомбы.

Таким образом, кривая энергии связи не только объясняет рождение и смерть звезд и возникновение элементов, но и делает возможным существование водородной и атомной бомб! (Ученых часто спрашивают, можно ли создать ядерные бомбы помимо атомных и водородных. Как видно из кривой энергии связи, ответ на этот вопрос отрицательный. Отметим, что кривая исключает возможность создания кислородной или железной бомбы. Эти элементы расположены вблизи нижней части кривой, поэтому избытка массы не хватит для бомбы.

А упоминающиеся в прессе бомбы вроде нейтронной — это разновидности урановой и водородной бомб.)

Когда впервые слышишь историю жизни звезд, невольно относишься к ней скептически. Ведь никто же не мог прожить 10 млрд лет и стать свидетелем эволюции звезд. Но, поскольку звезд в небе бесчисленное множество, несложно увидеть звезды почти на всех этапах их эволюции. (К примеру, в 1987 г. сверхновая звезда, которую можно было наблюдать невооруженным глазом в южном полушарии, обеспечила нас множеством астрономических данных, соответствующих теоретическим предположениям о схлопывающемся карлике с железным ядром. Кроме того, остаток великолепной сверхновой звезды, которую наблюдали древнекитайские астрономы 4 июля 1054 г., в настоящее время идентифицирован как нейтронная звезда.)

Вдобавок наши компьютерные программы стали настолько точными, что мы в принципе можем численно прогнозировать порядок звездной эволюции. Когда-то у меня был сосед-аспирант, специализировавшийся на астрономии. Он неизменно уходил рано утром и возвращался поздно вечером. Перед уходом говорил, что ставит звезду в духовку, чтобы увидеть, как она растет. Поначалу я думал, что он шутит. Но, когда я стал расспрашивать его, он со всей серьезностью объяснил, что закладывает звезду в компьютер и весь день наблюдает за тем, как она эволюционирует. Поскольку уравнения термодинамики и термоядерных реакций хорошо известны, остается лишь задать определенную массу водорода и дожидаться, когда компьютер представит эволюцию этого газа в численном виде. Таким способом можно убедиться, что наша теория звездной эволюции воспроизводит известные стадии жизни звезды, которые мы видим в телескопы.

Черные дыры

Если звезда в 10–50 раз превосходит размерами наше Солнце, тогда гравитация будет продолжать сжимать ее даже после

превращения в нейтронную звезду. В отсутствие силы термоядерных реакций, противостоящей силе притяжения, ничто не может помешать окончательному схлопыванию звезды. В этот момент она становится пресловутой черной дырой.

Существование черных дыр в некотором смысле неизбежно. Как мы помним, звезда — это продукт взаимодействия двух космических сил: гравитации, которая стремится сжать звезду, и силы ядерных реакций, которая стремится взорвать звезду, как водородную бомбу. Все этапы истории существования звезды — следствие этого шаткого равновесия между гравитацией и ядерным взаимодействием. Рано или поздно, когда все ядерное топливо гигантской звезды наконец израсходуется и звезда превратится в скопление одних нейтронов, ничто, насколько нам известно, не сможет помешать воздействию мощной силы гравитации. В конце концов гравитация возобладает и уничтожит нейтронную звезду. Звезда завершила свой путь: она родилась, когда гравитация только начала сжимать газообразный водород в небе, создавая звезду, и умерла, когда ядерное топливо кончилось и гравитация вызвала схлопывание звезды.

Плотность черной дыры настолько велика, что свет, подобно ракете, запущенной с Земли, вынужден двигаться по ее орбите. Поскольку свет не в состоянии избежать воздействия гравитационного поля огромной мощности, схлопнувшаяся звезда по цвету становится черной. Так и принято давать определение черным дырам: это сколлапсировавшая звезда, от которой не может исходить свет.

Надо заметить, что у всех небесных тел есть так называемая *скорость убегания*. Это скорость, необходимая для полного преодоления гравитационного притяжения конкретного тела. К примеру, космический зонд должен развить скорость убегания 25 000 миль в час (40 000 км/ч), чтобы преодолеть гравитационное притяжение Земли и улететь в дальний космос. Такие космические зонды, как «Вояджер», который вышел в открытый космос и покинул Солнечную систему (увозя послание доброй воли к инопланетянам, которым он

может повстречаться), развил скорость убегания нашего Солнца. (Мы дышим кислородом, так как атомам кислорода недостает скорости, чтобы преодолеть поле притяжения Земли. Оболочка Юпитера и других газовых гигантов состоит преимущественно из водорода, поскольку их скорость убегания достаточно велика, чтобы удержать изначальный водород ранней Солнечной системы. Таким образом, скорость убегания помогает объяснить эволюцию планет Солнечной системы за последние 5 млрд лет.)

В сущности, ньютонова теория гравитации дает точное соотношение между скоростью убегания и массой звезды. Чем тяжелее планета или звезда и чем меньше ее радиус, тем большая скорость убегания понадобится, чтобы преодолеть силу ее гравитационного притяжения. Еще в 1783 г. английский астроном Джон Мичелл воспользовался этими вычислениями, чтобы предположить, что супермассивная звезда может иметь скорость убегания, равную скорости света. Свет, излучаемый такой массивной звездой, не отдалается от нее, а движется вокруг по орбите. Таким образом, стороннему наблюдателю эта звезда может показаться совершенно черной. Пользуясь всеми знаниями, имевшимися в XVIII в., Мичелл действительно вычислил массу такой черной дыры*. Увы, его теорию сочли бредовой и вскоре забыли. Тем не менее сегодня мы склонны считать, что черные дыры существуют, так как благодаря телескопам и другим приборам увидели в небе белых карликов и нейтронные звезды.

Объяснить, почему черные дыры черные, можно двумя способами. С точки зрения прохожего, сила, действующая между звездой и лучом света, настолько велика, что его траектория изогнута и представляет собой окружность. Можно также

* В Философских трудах Королевского общества Мичелл писал: «Если диаметр сферы той же плотности, что и Солнце, превосходит Солнце в пропорции 500 к 1, тогда некое тело, падающее с бесконечно большой высоты в сторону сферы, приобретет у ее поверхности скорость, превышающую скорость света; следовательно, если предположить, что свет притягивается к другим телам с той же силой пропорционально его *vis inertiae*, тогда весь свет, излучаемый подобным телом, должен возвращаться к нему под действием его собственной силы тяжести»². — Прим. авт.

принять точку зрения Эйнштейна, согласно которой «кратчайшее расстояние между двумя точками — кривая». Искривление луча света до полной окружности означает, что и само пространство свернуто в круг. Такое возможно лишь в том случае, если черная дыра полностью сжала участок пространства-времени вокруг нее, поэтому луч света перемещается в гиперсфере. Этот участок пространства-времени теперь отделен от окружающего пространства-времени, а само пространство «разорвано».

Мост Эйнштейна-Розена

Релятивистское описание черных дыр фигурирует в работе Карла Шварцшильда. В 1916 г., всего через несколько месяцев после того, как Эйнштейн записал свои знаменитые уравнения, Шварцшильд сумел найти для них точное решение и вычислить гравитационное поле массивной стационарной звезды.

Решение Шварцшильда имело несколько интересных особенностей. Во-первых, вокруг черной дыры находится «точка невозврата». Любой объект, приблизившийся на расстояние, меньшее, чем этот радиус, неизбежно затянет в черную дыру, спастись ему не удастся. Человек, которому не посчастливится оказаться в пределах радиуса Шварцшильда, будет захвачен черной дырой и раздавлен насмерть. В настоящее время это расстояние от черной дыры называется *радиусом Шварцшильда*, или *горизонтом событий* (самой удаленной видимой точкой).

Во-вторых, каждый, кто окажется в пределах радиуса Шварцшильда, обнаружит «зеркальную вселенную» по «другую сторону» пространства-времени (рис. 10.2). Эйнштейна не беспокоило существование этой причудливой зеркальной Вселенной, потому что сообщение с ней было невозможным. Любой космический зонд, отправленный в центр черной дыры, столкнется с бесконечной искривленностью; иначе

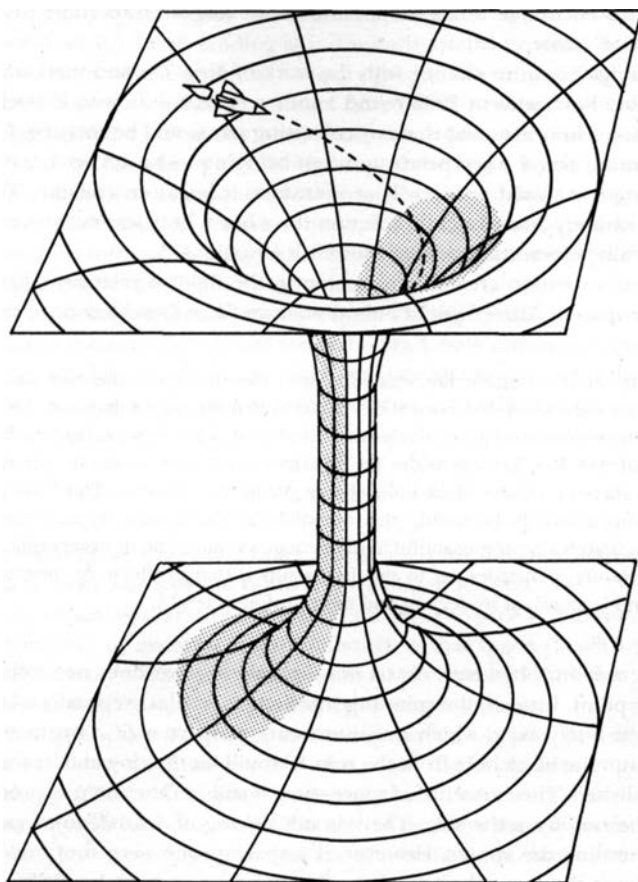


Рис. 10.2. Мост Эйнштейна–Розена соединяет две разных вселенных. Эйнштейн считал, что любая ракета, очутившаяся на этом мосту, будет уничтожена, значит, сообщение между этими двумя вселенными невозможно. Но более поздние вычисления показали, что путешествия по мосту хоть и чрезвычайно трудны, но все-таки возможны

говоря, гравитационное поле окажется бесконечным, а любой материальный объект будет уничтожен. Электроны оторвутся от атомов, и даже протоны и нейтроны в ядре разнесет в разные стороны. Кроме того, чтобы проникнуть в другую вселенную, зонду понадобится лететь со скоростью, превышающей скорость света, а это невозможно. Таким образом, хотя зер-

кальная Вселенная математически необходима для понимания решения Шварцшильда, наблюдать ее физически не удастся никогда.

В итоге известный мост Эйнштейна–Розена, соединяющий две вселенных (мост назван в честь Эйнштейна и его соавтора Натана Розена), считается математической причудой. Этот мост необходим для получения математически последовательной теории черных дыр, однако по мосту Эйнштейна–Розена попасть в зеркальную вселенную невозможно. Мосты Эйнштейна–Розена вскоре обнаружили и в других решениях гравитационных уравнений, таких, как решение Райснера–Нордстрёма для черной дыры с электрическим зарядом. Тем не менее мост Эйнштейна–Розена оставался любопытным, но забытым приложением к теории относительности.

Ситуация начала меняться с появлением труда новозеландского математика Роя Керра, который в 1963 г. нашел еще одно точное решение уравнений Эйнштейна. Керр полагал, что любая коллапсирующая звезда вращается. Как вращающийся фигурист, скорость которого возрастает, когда он прижимает к себе руки, звезда неизбежно будет вращаться быстрее по мере схлопывания. Таким образом, стационарное решение Шварцшильда для черных дыр не было самым физически релевантным решением уравнений Эйнштейна.

Предложенное Керром решение стало сенсацией в вопросах относительности. Астрофизик Субраманьян Чандрасекар однажды сказал:

Самым ошеломляющим событием за всю мою научную жизнь, т. е. более чем за сорок пять лет, стало осознание, что точное решение уравнений общей теории относительности Эйнштейна, открытое новозеландским математиком Роем Керром, дает абсолютно точное отображение бесчисленного множества массивных черных дыр, наполняющих вселенную. Этот «трепет перед прекрасным», этот невероятный факт, что открытие, к которому привел поиск красоты в математике, обнаружило ее точную копию в Природе, убеждают меня, что красота — то,

на что человеческий разум отзывается на самом глубинном, содержательном уровне³.

Однако Керр обнаружил, что массивная вращающаяся звезда не сжимается в точку. Вместо этого вращающаяся звезда сплющивается, пока в конце концов не превращается в кольцо, обладающее примечательными свойствами. Если запустить зонд в черную дыру сбоку, он ударится об это кольцо и будет полностью уничтожен. Искривленность пространства-времени остается бесконечной, если приближаться к кольцу сбоку. Если можно так выразиться, центр все так же окружен «кольцом смерти». Но, если запустить космический зонд в кольцо сверху или снизу, ему придется иметь дело с большой, но конечной искривленностью; иначе говоря, гравитационная сила не будет бесконечной.

Этот весьма неожиданный вывод из решения Керра означает, что любой космический зонд, запущенный во вращающуюся черную дыру вдоль оси ее вращения, может в принципе пережить огромное, но конечное воздействие гравитационных полей в центре и проделать весь путь до зеркальной Вселенной, избежав гибели под воздействием бесконечной искривленности. Мост Эйнштейна–Розена действует как туннель, соединяющий две области пространства-времени; это и есть «червоточина», или «кротовина». Таким образом, черная дыра Керра — ворота в другую вселенную.

А теперь представим, что наша ракета очутилась на мосту Эйнштейна–Розена. Приближаясь к вращающейся черной дыре, она видит кольцеобразную вращающуюся звезду. Поначалу кажется, что ракету, спускающуюся навстречу черной дыре со стороны северного полюса, ждет катастрофическое столкновение. Но по мере приближения к кольцу свет зеркальной Вселенной достигает наших датчиков. Поскольку все электромагнитное излучение, в том числе и от радаров, движется по орбите черной дыры, на экранах наших радаров появляются сигналы, многократно проходящие вокруг черной дыры. Создается эффект, напоминающий зеркальную «комнату смеха»,

где нас вводят в заблуждение многочисленные отражения со всех сторон. Свет отражается рикошетом от множества зеркал, создавая иллюзию, будто комната полна наших точных копий.

Тот же самый эффект наблюдается при прохождении сквозь черную дыру согласно Керру. Поскольку один и тот же луч света обходит черную дыру по орбите множество раз, радар в нашей ракете обнаруживает изображения, вращающиеся вокруг черной дыры и создающие иллюзию объектов, которых на самом деле там нет.

Варп-скорость 5

Означает ли это, что с помощью черных дыр можно путешествовать по всей галактике, как в «Звездном пути» и других научно-фантастических фильмах?

Как мы видели ранее, искривленность конкретного пространства обусловлена количеством материи-энергии, содержащейся в этом пространстве (принцип Маха). Знаменитая формула Эйнштейна дает нам точную степень искривления пространства-времени, вызванного наличием материи-энергии.

Когда мы вместе с капитаном Кирком устремляемся сквозь гиперпространство с «варп-скоростью 5», «кристаллы дилития», приводящие в движение «Энтерпрайз», должны творить чудеса, деформируя пространство и время. Это означает, что кристаллы дилития обладают магической способностью сворачивать пространственно-временной континуум в крендель, т. е. являются вместилищами неисчерпаемых запасов материи и энергии.

Если «Энтерпрайз» совершает рейс с Земли на ближайшую звезду, он не перемещается физически к альфе Центавра — скорее, альфа Центавра приближается к «Энтерпрайзу». Представьте себе, что вы сидите на ковре и накидываете лассо на стол, находящийся на расстоянии нескольких метров. Если вы достаточно сильны, а пол сравнительно гладкий, можно

тянуть лассо, пока ковер под вами не соберется в складки. Если потянуть как следует, стол подъедет к вам, «расстояние» между столом и вами исчезнет в складках ковра. Тогда можно просто перепрыгнуть через этот «ковровый варп». Иными словами, вы почти не двигались, а пространство между вами и столом сократилось, и вы просто перешагнули сжавшееся расстояние. Так и «Энтерпрайз» на самом деле вовсе не преодолевает все пространство, отделяющее его от альфы Центавра: он просто перемещается через деформированное пространство-время — «червоточину». Для того чтобы лучше понять, что происходит, когда спускаешься по мосту Эйнштейна–Розена, поговорим о топологии «червоточин».

Для того чтобы представить себе многосвязные пространства, вообразите, что вы шагаете солнечным днем по Пятой авеню в Нью-Йорке, размышляете о своих делах, и вдруг прямо перед вами открывается странное парящее в воздухе окно, очень похожее на зеркало Алисы. (На время забудем, что энергия, которая потребуется для открывания такого окна, способна разрушить Землю. Это чисто гипотетический пример.)

Вы приближаетесь к зависшему над землей окну, чтобы получше рассмотреть его, и в ужасе обнаруживаете прямо перед собой голову злобного с виду *тираннозавра рекс*. Вы уже готовы спастись бегством, как вдруг замечаете, что у тираннозавра нет туловища. Он не причинит вам никакого вреда, потому что его тело находится по другую сторону окна. Когда вы заглядываете за окно, чтобы осмотреть туловище динозавра, то видите только улицу, как будто ни динозавра, ни окна нет вообще. Озадачившись, вы медленно обходите окно и с облегчением убеждаетесь, что тираннозавра нигде нет. Но заглянув в окно с обратной стороны, вы видите прямо перед собой голову бронтозавра (рис. 10.3)!

Перепугавшись, вы снова обходите вокруг окна, попутно взглянув на него сбоку. К вашему изумлению, окно вместе с тираннозавром и бронтозавром исчезает бесследно. Вы еще несколько раз обходите вокруг повисшего в воздухе окна. С одной стороны, видите голову тираннозавра, с другой —



Рис. 10.3. В этом чисто гипотетическом примере в нашей Вселенной открывается «окно», или «червоточина». Заглянув в окно с одной стороны, мы видим одного динозавра. Заглянув с другой стороны, видим второго динозавра. Из другой Вселенной видно, что окно открылось между двумя динозаврами. В окне динозавры видят странное маленькое существо — человека

голову бронтозавра. А когда смотрите сбоку, то и зеркало, и динозавры исчезают.

Что происходит?

В некой далекой Вселенной тираннозавр и бронтозавр сошлись, чтобы драться не на жизнь, а на смерть. Когда они стояли один напротив другого, между ними вдруг возникло парящее в воздухе окно. Заглянув в это окно, тираннозавр

неожиданно для себя увидел голову щедеушного, тощего млекопитающего с растрепанными волосами и крошечным лицом — человека. Голова видна отчетливо, а тела нет. Когда в то же самое окно заглянул бронтозавр, то увидел Пятую авеню с ее магазинами и транспортом. Потом тираннозавр заметил, что человек в окне исчез, только чтобы появиться по другую сторону окна и показаться бронтозавру.

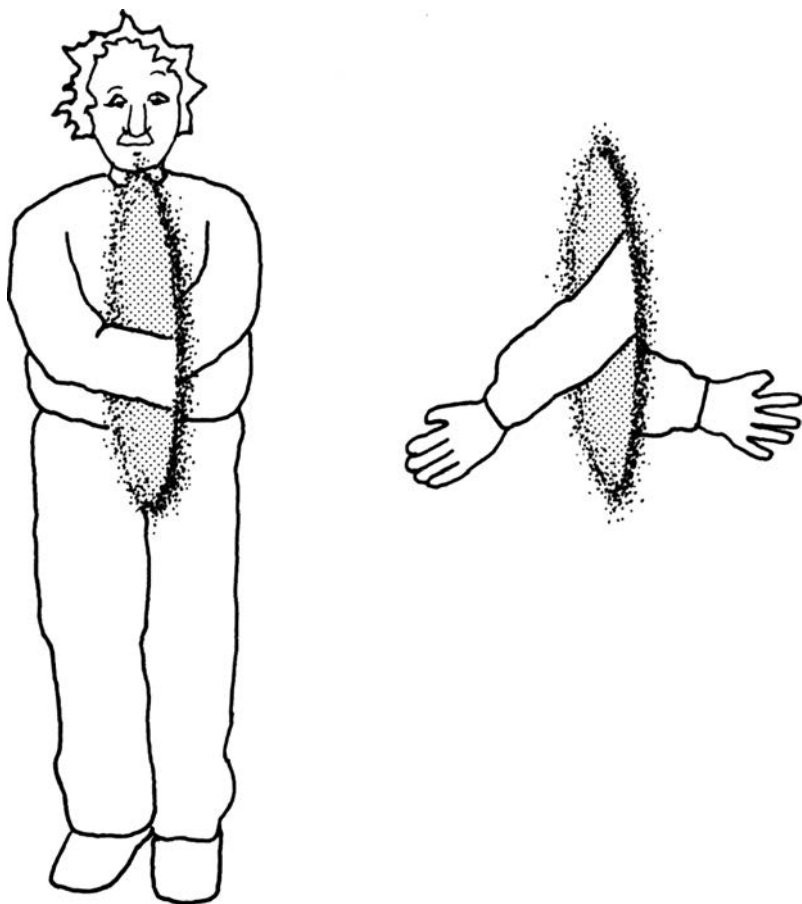


Рис. 10.4. Если мы засунем в окно наши руки с разных сторон, будет казаться, что они исчезли. Туловище есть, а рук нет. В другой Вселенной по обеим сторонам окна появятся обе руки, но они не будут соединены с телом

А теперь представьте, что внезапный порыв ветра унес вашу шляпу в окно. Вы видите, как шляпа летит по воздуху в другой Вселенной, но нигде на Пятой авеню ее нет. Тяжело вздохнув, вы отчаянным движением суετε руку в окно, чтобы поймать шляпу. Тираннозавр при этом видит, как шляпа вылетает из окна и скрывается из виду. Потом он видит, как из окна высовывается отделенная от тела рука, тщетно пытающаяся ухватить шляпу.

Ветер вдруг меняет направление, и шляпа летит в другую сторону. Вы просовываете в окно вторую руку, но уже с другой стороны. И попадаете в неловкое положение: обе ваши руки засунуты в окно, но с разных сторон. Вы не видите собственных пальцев, вам кажется, что обе руки исчезли.

Что при этом видят динозавры? Они видят две судорожно машущие крошечные ручонки, высунувшиеся из окна с обеих сторон. А остального тела нет (рис. 10.4).

Этот пример демонстрирует лишь некоторые из удивительных искажений пространства и времени, которые можно придумать с помощью многосвязных пространств.

Закрытие «червоточины»

Поразительно, как простая идея о том, что высшие измерения способны объединить пространство и время, а силу можно объяснить искажением этого пространства-времени, приводит к столь многообразным физическим последствиям. Однако с помощью «червоточин» и многосвязных пространств мы исследуем ограничения общей теории относительности Эйнштейна. В сущности, для создания «червоточины», или пространственных ворот, требуется так много материи-энергии, что можно ожидать преобладания квантовых эффектов. В свою очередь, квантовые поправки могут в действительности закрыть вход в «червоточину» и сделать путешествия через нее невозможными.

Поскольку ни квантовая теория, ни теория относительности не способны решить этот вопрос, нам придется дождаться,

когда будет окончательно разработана десятимерная теория и наконец даст ответ, имеют ли физическую релевантность «червоточины» или же это очередная бредовая идея. Но, прежде чем перейти к вопросу о квантовых поправках и десятимерной теории, сделаем паузу и задумаемся о самых невероятных последствиях применения «червоточин». Если ученые могут доказать, что «червоточины» делают возможным существование многосвязных пространств, то в наших силах также продемонстрировать, что благодаря «червоточинам» возможны путешествия во времени.

Рассмотрим самое, возможно, захватывающее и эффектное следствие идеи существования многосвязных вселенных: создание машины времени.

Создание машины времени

Люди, которые, подобно нам, верят в физику, знают, что разница между прошлым, настоящим и будущим — всего-навсего упрямая иллюзия.

Альберт Эйнштейн

Путешествия во времени

Можем ли мы вернуться в прошлое?

Есть ли у нас возможность по примеру героя романа Герберта Уэллса «Машина времени» повернуть циферблат машины, перескочить через сотни тысяч лет и попасть в 802701 год? Или же, подобно Майклу Фоксу, сесть в автомобиль, работающий на плутонии, и вернуться назад в будущее?

Возможность путешествия во времени открывает обширный мир других заманчивых возможностей. Как Кэтлин Тернер в фильме «Пегги Сью вышла замуж» (Peggy Sue Got Married), все люди втайне мечтают как-нибудь вернуться в прошлое, чтобы исправить небольшую, но жизненно важную ошибку. В стихотворении Роберта Фроста «Неизбранная дорога» (The Road Not Taken) герой гадает, что могло произойти, если бы на важных жизненных развилках мы выбрали другой путь, приняли иное решение. Умея путешествовать во времени, мы могли бы вернуться в собственную юность и стереть из прошлого постыдные события, выбрать другого спутника жизни, отдать предпочтение иной карьере, а может, даже изменить исход ключевого исторического события или судьбу человечества.

К примеру, в кульминационных сценах «Супермена» герой буквально убит горем, когда его возлюбленная погибает под тоннами обломков во время землетрясения, стирающего с лица земли чуть ли не всю Калифорнию. Оплакивая ее ужасную гибель, он поддается чувствам, устремляется в космос и нарушает свою клятву не вмешиваться в ход истории человечества. Супермен наращивает скорость до тех пор, пока не преодолевает световой барьер, разрывая ткань пространства и времени. Передвигаясь со скоростью света, Супермен заставляет время замедлиться, потом остановиться и наконец повернуть вспять, к моменту непосредственно перед гибелью Лоис Лейн.

Но такой фокус явно невозможен. Несмотря на то что время замедляется, если мы увеличиваем скорость, мы не в состоянии передвигаться быстрее скорости света (в итоге повернуть время вспять), так как специальная теория относительности гласит, что при этом наша масса становится бесконечной. Таким образом, метод передвижения со скоростью, превосходящей скорость света, излюбленный авторами научной фантастики, противоречит специальной теории относительности.

Сам Эйнштейн признавал неосуществимость этой задачи — как и Артур Генри Реджинальд Буллер, опубликовавший в журнале *Punch* следующий лимерик¹:

Жила-была барышня по имени Света,
Порхала быстрее скорости света,
Однажды вернулась с работы она
Под вечер вчерашнего дня.
Релятивистка Света.

Большинство ученых, не изучавших всерьез уравнения Эйнштейна, отмечают путешествия во времени и считают, что они не более правдивы, чем зловещие истории о похищениях инопланетянами. Однако на самом деле все гораздо сложнее.

Чтобы разобраться в этом вопросе, нам придется отказаться от более простой специальной теории относительности, исклю-

чающей путешествия во времени, и взять на вооружение всю мощь *общей* теории относительности, допускающей такие путешествия. У *общей* теории относительности область применения гораздо шире, чем у специальной. Если специальная теория относительности описывает только объекты, движущиеся с постоянной скоростью вдали от звезд, то *общая* теория относительности способна на большее — на описание движения ракет, набирающих ускорение вблизи супермассивных звезд и черных дыр. Следовательно, *общая* теория заменяет некоторые простые выводы специальной теории. Для любого физика, подробно изучавшего математику путешествий во времени в рамках *общей* теории относительности Эйнштейна, окончательный вывод, как ни странно, далеко не однозначен.

Сторонники путешествий во времени указывают, что уравнения Эйнштейна для *общей* теории относительности подразумевают некоторые формы путешествия во времени. Однако они же признают, что энергия, необходимая для замыкания времени в круг, настолько велика, что для нее уравнения Эйнштейна неприменимы. В примечательной с точки зрения физики области, где путешествия во времени вполне возможны, квантовая теория берет на себя функцию *общей* теории относительности.

Как мы помним, уравнения Эйнштейна гласят, что искривленность или деформация пространства-времени определяется содержанием материи-энергии во Вселенной. Иными словами, можно найти такие соотношения материи-энергии, чтобы вызвать искривление времени и способствовать путешествиям во времени. Однако концентрация материи-энергии, необходимая для обратной деформации времени, настолько велика, что уравнения *общей* теории относительности не выполняются и квантовые поправки начинают преобладать над относительностью. Таким образом, окончательный вердикт относительно путешествий во времени нельзя вынести в рамках уравнений Эйнштейна, которые не выполняются в условиях чрезвычайно больших гравитационных полей, где следует ожидать господства квантовой теории.

Именно в этом случае вопрос может решить теория гиперпространства. Поскольку квантовая теория и теория гравитации Эйнштейна объединены в десятимерном пространстве, можно ожидать, что вопрос о путешествиях во времени определенно прояснится с помощью теории гиперпространства. Как и в случае с «червоточинами» и окнами в разных измерениях, последнее слово будет написано, когда мы освоим теорию гиперпространства во всей ее полноте.

А теперь перейдем к полемике вокруг путешествий во времени и неизбежно возникающим при этом восхитительным парадоксам.

Коллапс причинно-следственной связи

Авторы научной фантастики часто размышляют о том, что могло случиться, если бы хоть один человек сумел попасть в прошлое. Многие повествования в таком духе на первый взгляд кажутся правдоподобными. Но представьте себе, какой хаос возник бы, если бы машины времени стали таким же обычным явлением, как автомобили, продающиеся в настоящее время десятками миллионов. Очень скоро началась бы неразбериха, разрывающая ткань нашей Вселенной. Миллионы человек переместились бы назад во времени, чтобы вмешаться в собственное и чужое прошлое, попутно переписывая историю. Кое-кто даже прихватил бы с собой оружие, чтобы уничтожить родителей своих врагов и не дать этим врагам появиться на свет. Элементарная перепись населения, показывающая, сколько людей жило в то или иное время, сделалась бы невозможной.

Путешествия во времени свели бы на нет законы причинно-следственной связи. В сущности, разрушилась бы вся известная нам история. Представьте себе, какую путаницу создали бы тысячи человек, переместившиеся назад во времени, чтобы повлиять на события, изменившие ход истории. Внезапно зал в театре Форда заполнили бы пришельцы из буду-

щего, оспаривающие друг у друга право предотвратить убийство Линкольна. Высадке в Нормандии помешали бы толпы любителей острых ощущений с фотоаппаратами, жаждущих запечатлеть происходящее.

Главные битвы истории изменились бы до неузнаваемости. Возьмем для примера решающую победу Александра Македонского над войском персидского царя Дария III в 331 г. до н. э. в битве при Гавгамелах. В результате этого сражения персидская армия была рассеяна, ее противостояние Западу завершилось, что способствовало процветанию западной цивилизации и культуры в последующее тысячелетие. А теперь представим, что произошло бы, если бы в битву вмешался небольшой отряд вооруженных наемников с малогабаритными ракетными устройствами и современной артиллерией. Одной только демонстрации современного вооружения хватило бы, чтобы обратить в бегство перепуганных воинов Александра. Это вмешательство в события прошлого нанесло бы урон экспансии западного влияния в мире.

Путешествия во времени означали бы, что ни одно историческое событие не может иметь однозначного исхода. Трудно по истории было бы невозможно писать. Всегда находились бы фанатики, пытающиеся убить генерала Улисса Гранта или передать секрет атомной бомбы нацистам в 1930-е гг.

Что произошло бы, если переписать историю было так же легко, как стереть мел со школьной доски? Наше прошлое напоминало бы дюны на побережье, где песок осыпается от любого, даже самого легкого бриза. История менялась бы всякий раз, стоило кому-нибудь повернуть циферблат машины времени и устремиться в прошлое. История в том виде, в каком мы знаем ее сегодня, оказалась бы невысказанной. Она просто прекратила бы существовать.

Мало кого из ученых радует эта сомнительная перспектива. Историки могут не только лишиться возможности разбираться в истории: при нашем попадании в прошлое или будущее сразу же возникнут самые настоящие парадоксы. Космолог Стивен Хокинг воспользовался этим обстоятельством,

продемонстрировав «экспериментальное» свидетельство тому, что путешествия во времени невозможны. Он считает их невозможными, «потому что к нам до сих пор не вторглись толпы туристов из будущего».

Парадоксы времени

Для того чтобы разобраться в проблемах путешествий во времени, сначала необходимо классифицировать парадоксы. Обычно большинство этих парадоксов можно отнести к одной из двух основных групп:

1. Встреча человека со своими родителями еще до его рождения.
2. Человек без прошлого.

Путешествия во времени, относящиеся к первому типу, наносят максимальный ущерб ткани пространства-времени, так как меняют уже свершившиеся и зафиксированные события. К примеру, вспомним, как в фильме «Назад в будущее» (Back to the Future) молодой герой отправляется в прошлое и встречается свою мать еще совсем молодой, до того, как она влюбилась в его отца. К своему ужасу и смятению, герой обнаруживает, что невольно помешал решающей встрече своих родителей. Хуже того, молоденькая мать героя увлеклась им самим! Если своим появлением герой не даст своим родителям полюбить друг друга, если неуместные чувства матери к нему не изменятся, герой исчезнет, ведь его появление на свет так и не произойдет.

Второй парадокс относится к событиям, не имеющим какого-либо начала. К примеру, предположим, что некий разорившийся, с трудом сводящий концы с концами изобретатель пытается сконструировать у себя в захлавленном подвале первую в мире машину времени. Вдруг неизвестно откуда является богатый пожилой джентльмен и предлагает изобретателю внушительные средства, сложные формулы и схемы для созда-

ния машины времени. Изобретателю удастся разбогатеть благодаря путешествиям во времени, ведь он узнает о подъемах и обвалах рынка акций заранее, еще до того, как они произойдут. Он сколачивает состояние, делая ставки на рынке ценных бумаг, на скачках и т. п. А через несколько десятилетий, став богатым пожилым джентльменом, отправляется в прошлое, чтобы осуществить свою судьбу. Он встречает самого себя — молодого, работающего в подвале, открывает самому себе тайну путешествий во времени и дает деньги для их реализации. Вопрос в следующем: откуда взялась идея путешествий во времени?

Возможно, самый невероятный из этих парадоксов, относящихся ко второму типу путешествий во времени, описан в классическом рассказе Роберта Хайнлайна «Все вы зомби».

В 1945 г. в кливлендском сиротском приюте загадочным образом появляется новорожденная девочка. «Джейн» растет одинокой и несчастной, пока однажды в 1963 г. у нее не возникает странное влечение к какому-то бродяге. Она влюбляется в него. Но после недолгого просвета в ее жизни начинается полоса невзгод. Во-первых, она беременеет от бродяги, который вскоре исчезает. Во-вторых, во время трудных родов врачи обнаруживают, что у Джейн два полных набора половых органов, и, чтобы спасти ей жизнь, хирургическим путем превращают «ее» в «его». И наконец, таинственный незнакомец похищает ее ребенка из родильного отделения.

После всех этих потрясений отвергнутый обществом и обиженный судьбой герой становится пьяницей и бродягой. Теперь у «него» нет не только родителей и любимого, но и единственного ребенка. Спустя много лет, в 1970 г., герой заваливается в пустой бар под названием «У Папаши» и выкладывает свою горестную историю пожилому бармену. Сочувственно настроенный бармен предлагает бродяге шанс отомстить незнакомцу, который оставил героиню беременной и испарился. Бармен ставит одно условие: бродяга должен вступить в «организацию путешественников во времени». Вдвоем они входят в машину времени, бармен высажи-

вает бродягу в 1963 г. Бродягу непостижимым образом влечет к молодой сироте, которая вскоре беременеет от него.

Затем бармен перемещается вперед на девять месяцев, похищает из больничных яслей новорожденную девочку и подбрасывает ее в сиротский приют в 1945 г. После этого бармен переносит совершенно растерявшегося бродягу в 1985 г., чтобы тот записался в организацию путешественников во времени. Бродяга наконец ухитряется наладить свою жизнь, становится уважаемым сотрудником организации путешественников во времени, старится, а потом под видом бармена выполняет самое трудное задание: встречается со своей судьбой в лице некоего бродяги. Встреча происходит в 1970 г. в баре «У Папаши».

Вопрос: кто мать Джейн, кто ее отец, дед, бабушка, сын, дочь, внучка и внук? Девушка, бродяга и бармен — само собой один и тот же человек. От таких парадоксов голова идет кругом, особенно если пытаться разобраться в запутанной истории происхождения Джейн. Если нарисовать ее генеалогическое древо, то окажется, что все ветви соединены в кольца, замкнуты сами на себя. И мы приходим к ошеломляющему выводу, что Джейн — ее собственная мать и отец! Все генеалогическое древо воплощено в ней одной.

Мировые линии

Теория относительности дает нам простой метод, помогающий разобраться с самыми противоречивыми из этих парадоксов. Первооткрывателем метода мировых линий был Эйнштейн.

Для примера предположим, что ваш будильник однажды утром звонит в восемь часов, а вы, вместо того чтобы идти на работу, решаете все утро проваляться в постели. На первый взгляд кажется, что вы просто бездельничаете, а на самом деле чертите «мировую линию».

Возьмите лист миллиметровой бумаге и нарисуйте систему координат, подписав горизонтальную ось «расстояние», а вер-

тикальную — «время». Если вы просто лежите в постели с 8:00 до 12:00, то ваша мировая линия представляет собой вертикальную прямую. Вы переместились на 4 часа в будущее, но не преодолели никакого расстояния. Даже когда мы предаемся своему излюбленному занятию, безделью, мы все равно создаем мировую линию. (Если кто-нибудь упрекнет вас, можете с полным правом возразить, что согласно теории относительности Эйнштейна заняты вычерчиванием мировой линии в четырехмерном пространстве-времени.)

А теперь предположим, что вы все-таки выбрались из постели в полдень и прибыли на работу в час дня. Ваша мировая линия пойдет под наклоном, так как вы перемещаетесь и во времени, и в пространстве. В нижнем левом углу — ваш дом, в верхнем правом — офис (рис. 11.1). Но если вы ездите на работу на машине, то придете в офис раньше, в 12:30. Значит, чем быстрее мы передвигаемся, тем сильнее наша мировая линия отклоняется от вертикали. (Отметим, что на этом графике есть также «запретная область», в которую наша мировая линия не входит, так как в противном случае нам пришлось бы перемещаться быстрее скорости света.)

Отсюда следует вывод: наша мировая линия не имеет ни начала, ни конца. Даже после нашей смерти ее продолжают вычерчивать молекулы нашего тела. Эти молекулы могут рассеиваться в воздухе или в почве и в то же время продолжать чертить бесконечные мировые линии. Аналогично, когда человек рождается, мировые линии молекул из организма его матери сливаются, продолжаясь в мировых линиях ребенка. Ни при каких условиях мировые линии не исчезают в никуда и не появляются из ниоткуда.

Для того чтобы увидеть, что отсюда следует, рассмотрим простой пример с личной мировой линией. Допустим, в 1950 г. ваши мать и отец познакомились, полюбили друг друга и произвели на свет дитя — вас. При этом мировые линии ваших матери и отца слились и образовали третью мировую линию — вашу. Когда в конце концов кто-то умирает, его мировые линии рассеиваются на миллиарды линий молекул

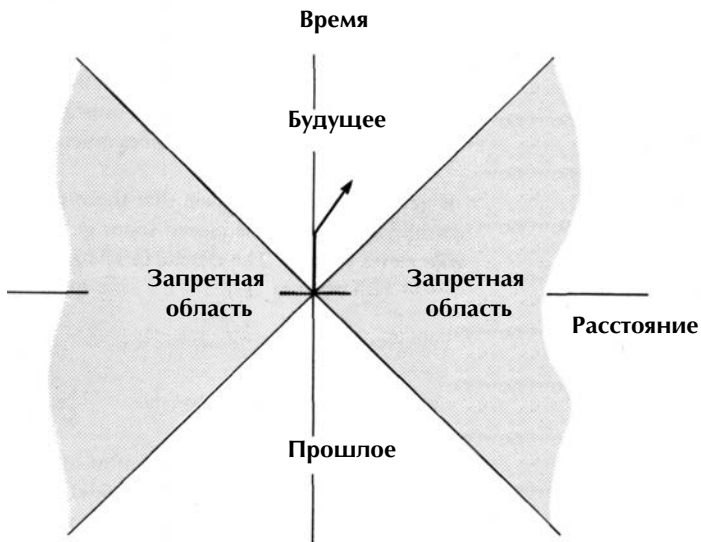
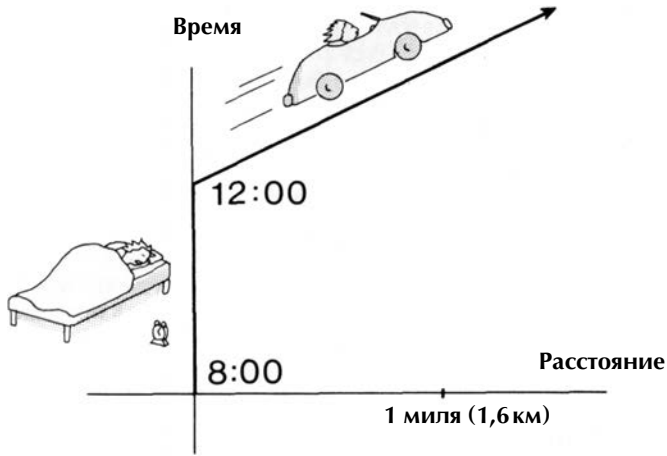


Рис. 11.1. Мировая линия человека отображает всю его жизнь от рождения до смерти. Например, если вы валяетесь в постели с 8:00 до 12:00, ваша мировая линия остается вертикальной. Если вы едете на работу на машине, ваша мировая линия становится наклонной. Чем быстрее вы перемещаетесь, тем больше наклон вашей мировой линии. Но максимальная из возможных скоростей перемещения — скорость света. Таким образом, на этой пространственно-временной схеме есть «запретные области»; для того чтобы войти в такую запретную область, надо превысить скорость света

его организма. В этом смысле человека можно охарактеризовать как временное скопление мировых линий молекул. Эти мировые линии до нашего рождения были рассеяны, затем сошлись, образуя наш организм, и разойдутся после того, как мы умрем. В Библии сказано «из праха в прах». С релятивистской точки зрения можно сказать «из мировых линий в мировые линии».

Таким образом, мировая линия индивидуума содержит всю совокупность информации, относящейся к его истории. Все, что когда-либо происходит с нами — от нашего первого велосипеда до первого свидания и первой работы, — отражено в нашей мировой линии. Выдающийся русский космолог Георгий Гамов, известный остроумным и оригинальным подходом к работам Эйнштейна, уместно назвал свою автобиографию «Моя мировая линия».

С помощью мировой линии можно показать, что произойдет, если мы вернемся в прошлое. Допустим, вы вошли в машину времени и встретились со своей матерью еще до того, как родились. Увы, она влюбляется в вас и отвергает вашего отца. Исчезнете ли вы, как показано в фильме «Назад в будущее»? Благодаря мировой линии вы поймете, почему это невозможно. Когда человек исчезает, исчезает и его мировая линия. Но согласно Эйнштейну мировые линии не прерываются. Следовательно, в теории относительности изменение прошлого невозможно.

А вот второй парадокс, связанный с воссозданием прошлого, представляет любопытные проблемы. Например, перемещаясь назад во времени, мы реализуем прошлое, а не разрушаем его. Таким образом, мировая линия изобретателя машины времени представляет собой замкнутую петлю. Его мировая линия скорее *воспроизводит* прошлое, нежели меняет его.

Гораздо запутаннее мировая линия Джейн — женщины, которая сама себе мать, отец, сын и дочь (рис. 11.2).

Еще раз отметим, что мы не в силах изменить прошлое. Когда наша мировая линия движется назад во времени, она просто реализует то, что уже известно. Следовательно, в такой

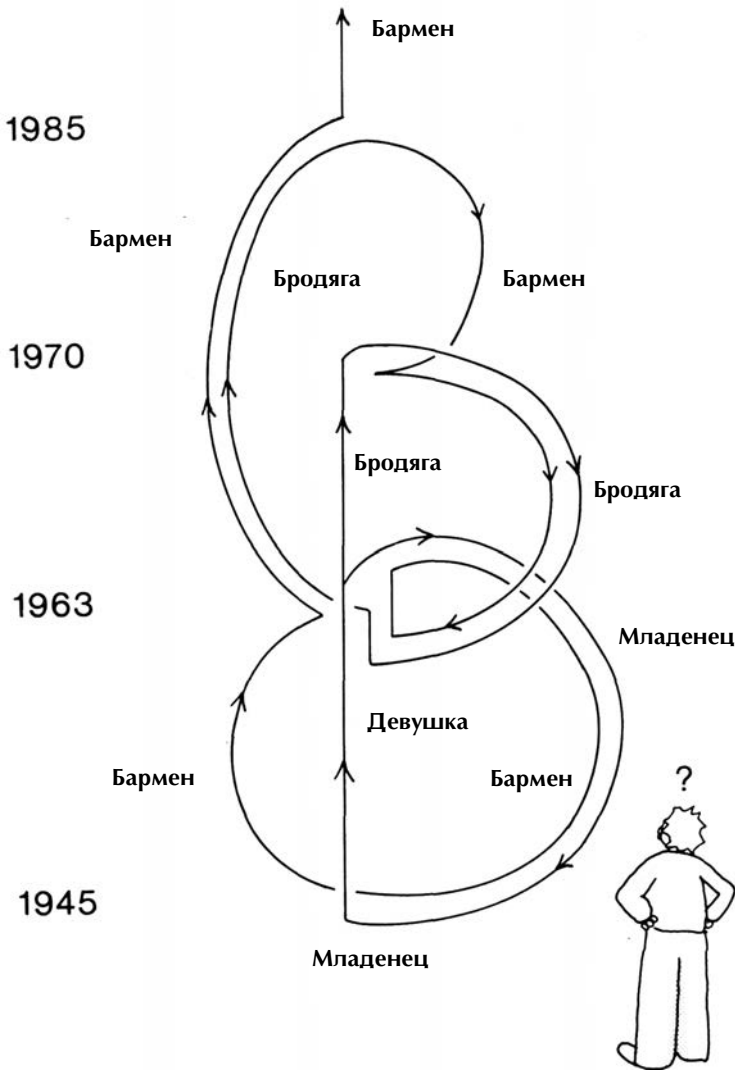


Рис. 11.2. Если путешествия во времени возможны, тогда наша мировая линия превращается в замкнутую петлю. В 1945 г. рождается девушка. В 1963 г. у нее появляется младенец. В 1970 г. она живет как бродяга, который возвращается в 1945 г., чтобы встретиться с самим собой. В 1985 г. он путешественник во времени, который знакомится с самим собой в баре в 1970 г., переносит себя назад в 1945 г., похищает младенца, доставляет его обратно в 1945 г., и все начинается заново. Эта девушка — ее собственная мать, отец, дед, бабушка, сын, дочь и т. д.

вселенной вполне возможно встретить самого себя в прошлом. Прожив полностью один цикл, рано или поздно вы встретите юношу или девушку, которая окажется вами в молодости. Не удержавшись, вы скажете собеседнику, что его внешность подозрительно знакома вам. А потом вдруг вспомните, как однажды в молодости встретили странного человека постарше, который утверждал, что ваше лицо ему знакомо.

Таким образом, возможно, мы в состоянии выполнить прошлое, но не изменить его. Как мы уже указывали, мировые линии не прерываются и не кончаются. Вероятно, они могут образовывать петли во времени, но ни в коем случае не менять его.

Но схемы с линиями, похожими на световые конусы, представлены только в рамках специальной теории относительности, способной описать, что произойдет, если мы попадем в прошлое, однако слишком примитивной, чтобы разрешить вопрос о том, имеют ли они смысл. Для того чтобы ответить на этот более широкий вопрос, надо обратиться к общей теории относительности, где ситуация становится гораздо более щекотливой.

Благодаря теории относительности мы видим, что такие изогнутые мировые линии не противоречат законам физики. Эти замкнутые петли получили научное название *замкнутых времениподобных кривых*. В настоящее время в научных кругах ведутся споры о том, допустимы ли замкнутые времениподобные кривые в общей теории относительности и квантовой теории.

«Спойлер арифметики» и общая теория относительности

В 1949 г. Эйнштейна обеспокоило открытие одного из его близких друзей и коллег, венского математика Курта Гёделя из Института перспективных исследований в Принстоне, где работал и Эйнштейн. Гёдель нашел внушающее тревогу решение уравнений Эйнштейна, допускавшее нарушение основ-

ных принципов здравого смысла: его решение подразумевало определенные формы путешествий во времени. Впервые в истории идея путешествий во времени обрела математический фундамент.

В некоторых кругах Гёделя прозвали «спойлером» (от англ. spoiler — вредитель, пакостник). В 1931 г. он приобрел славу (сомнительную), доказав вопреки всем ожиданиям, что продемонстрировать самосогласованность арифметики нельзя. При этом он вдребезги разбил мечту двух тысячелетий, восходящую еще к временам Евклида и древних греков, которой полагалось увенчать достижения математиков: мечту о сведении всей математики к небольшому самосогласованному своду аксиом, из которых можно вывести все.

Проявив математическую ловкость, Гёдель доказал, что в арифметике всегда будут теоремы, корректность или некорректность которых невозможно продемонстрировать с помощью арифметических аксиом, т. е. арифметика всегда будет несовершенной. Результатом действий Гёделя стал, возможно, самый ошеломляющий и неожиданный поворот в развитии математической логики за целое тысячелетие.

Математика, некогда считавшаяся ввиду ее точности и определенности самой чистой из наук, не испорченной вульгарностью нашего материального мира, утратила свою определенность. После Гёделя стало казаться, что математика плывет по течению. (Грубо говоря, поразительное доказательство Гёделя помогло увидеть, что в логике присутствуют любопытные парадоксы. Возьмем, к примеру, утверждение «это высказывание ложно». Если высказывание истинно, значит, утверждение ложно. Если высказывание ложно, утверждение истинно. Или, например, если я сказал, что я лжец, тогда я лгу только в том случае, если говорю правду. Гёдель сформулировал утверждение «истинность этого высказывания не может быть доказана». Если утверждение корректно, значит, нельзя доказать, что оно корректно. Искусно сплетая замысловатую паутину подобных парадоксов, Гёдель показал, что существуют истинные утверждения, которые невозможно доказать арифметически.)

Развевая одно из самых заветных мечтаний всех математиков, Гёдель не оставил камня на камне от здравого смысла, который было принято ассоциировать с уравнениями Эйнштейна. Он продемонстрировал, что теория Эйнштейна содержит удивительные патологии, в том числе путешествия во времени.

Сначала Гёдель предположил, что Вселенная наполнена медленно вращающимся газом или пылью. Предположение выглядело разумно, так как газопылевые скопления присутствуют в отдаленных областях Вселенной. Однако решение Гёделя внушало серьезные сомнения по двум причинам.

Во-первых, это решение противоречило принципу Маха. Гёдель показал, что при одинаковом распределении пыли и газа возможны два решения уравнений Эйнштейна. (Это означало, что принцип Маха несовершенен и что имеются скрытые допущения.)

Что еще важнее, Гёдель доказал допустимость определенных форм путешествий во времени. Если проследить путь частицы во Вселенной Гёделя, в конце концов она вернется обратно и встретится с самой собой в прошлом. Гёдель писал: «Совершая круговой рейс на ракете по достаточно широкой кривой, можно побывать в этих мирах в любой области прошлого, настоящего и будущего и вернуться обратно»². Так Гёдель обнаружил первую замкнутую времениподобную кривую в общей теории относительности.

Ранее Ньютон считал, что время движется подобно прямой стреле, летящей вперед точно к цели. Ничто не может сбить стрелу с пути или заставить ее изменить траекторию после того, как стрела выпущена. Однако Эйнштейн показал, что время больше похоже на могучую реку, текущую вперед, но зачастую прокладывающую извилистый путь по узким долинам и равнинам. В присутствии материи или энергии направление движения реки на время меняется, но в целом ее движение остается равномерным: река никогда не останавливается внезапно и не поворачивает вспять рывком. Но Гёдель показал, что река времени может равномерно двигаться

в обратном направлении, замыкаясь в круг. Ведь в реках есть и бурные течения, и водовороты. Главное течение реки может быть равномерным, а вдоль берегов всегда образуются заводи, где вода совершает круговое движение.

От выводов Гёделя было невозможно отмахнуться, так как он пользовался уравнениями поля, выведенными Эйнштейном, и находил странные решения, в которых время замыкалось в круг. Так как Гёдель играл по правилам и нашел законное решение уравнений, Эйнштейну пришлось избрать обходной путь и отказаться от предложенного решения ввиду его несоответствия экспериментальным данным.

Слабым местом Вселенной Гёделя было допущение, согласно которому газ и пыль в ней медленно вращались. В ходе экспериментов мы не замечаем никакого вращения космических скоплений газа и пыли в пространстве. Наши приборы подтвердили, что Вселенная расширяется, но признаков вращения она не проявляет. Таким образом, гипотетическую вселенную Гёделя можно смело исключить. (При этом сохраняется подозрительная, хоть и правдоподобная возможность, что наша Вселенная все-таки вращается, как предположил Гёдель, и тогда замкнутые временеподобные кривые и путешествия во времени физически возможны.)

Эйнштейн умер в 1955 г., согласившись с тем, что сомнительные решения его уравнений можно отмести по экспериментальным соображениям и что никто не может встретиться со своими родителями до того, как они родились.

Жизнь в сумеречной зоне

В 1963 г. Эзра Ньюман, Теодор Унти и Луис Тамбурино нашли новое решение уравнений Эйнштейна, еще более невероятное, чем решение Гёделя. В отличие от Вселенной последнего, новая вселенная уже не была наполнена вращающимися скоплениями пыли. На первый взгляд она напоминала типичную черную дыру.

Как и решение Гёделя, вселенная упомянутых выше авторов допускала существование замкнутых временеподобных кривых и путешествий во времени. Более того, проделав вокруг черной дыры путь в 360° , мы возвращались вовсе не в исходную точку. Вместо этого, словно очутившись во вселенной с римановым разрезом, мы попадали на другой «лист» вселенной. Топологически вселенную Ньюмана–Унти–Тамбурино можно сравнить с винтовой лестницей. Обойдя по лестнице 360° , мы прибудем не в ту же точку, откуда начали движение, а на другую площадку лестницы. Жизнь в подобной Вселенной способна затмить самые страшные кошмары, в ней совершенно нет места здравому смыслу. Эта вселенная выглядела так причудливо и дико, что сразу получила по первым буквам фамилий авторов название НУТ (совпадающее с англ. nut — бред, чепуха).

Поначалу релятивисты отказывались от решения Ньюмана–Унти–Тамбурино точно так же, как от решения Гёделя; поскольку казалось, что наша Вселенная развивалась не так, как предполагали эти решения: их категорично отвергли по экспериментальным соображениям. Но проходили десятилетия, а поток причудливых решений для уравнений Эйнштейна, допускающих путешествия во времени, не иссякал. В начале 1970-х гг. Фрэнк Типлер из Тулейнского университета в Новом Орлеане заново проанализировал давнее решение уравнений Эйнштейна, найденное Виллемом Якобом ван Стокумом в 1936 г., еще до появления решений Гёделя. Решение Стокума предполагало существование бесконечно длинного вращающегося цилиндра. Как ни удивительно, Типлер сумел доказать, что и это решение противоречит принципу причинности.

Оказалось, что даже решение Керра (представляющее собой наиболее реалистичное с физической точки зрения описание черных дыр в космосе) допускает путешествия во времени. Ракеты, проходящие сквозь центр черной дыры по Керру (при условии, что они уцелеют), могли нарушить причинно-следственную связь.

Вскоре физики обнаружили, что сингулярности НУТ-типа могут быть введены в любую черную дыру или расширяющуюся вселенную. По сути дела, теперь стало можно предлагать бесконечное множество патологических решений для уравнений Эйнштейна. К примеру, каждое решение с «червоточиной» могло допускать ту или иную форму путешествий во времени.

Согласно релятивисту Фрэнку Типлеру, «для уравнений поля можно найти решения, демонстрирующие буквально все возможные типы аномального поведения»³. Таким образом, возник целый шквал патологических решений для уравнений Эйнштейна — решений, которые привели бы самого Эйнштейна в ужас, если бы он был еще жив.

В каком-то смысле уравнения Эйнштейна подобны троянскому коню. На первый взгляд, этот конь — желанный подарок, дающий нам наблюдаемое искривление света звезд под действием гравитации и убедительное объяснение происхождения Вселенной. Однако в нем таятся демоны и гоблины всех мастей, допускающие возможность межзвездных путешествий по «червоточинам», а также путешествий во времени. За возможность всмотреться в самые сокровенные тайны Вселенной нам пришлось заплатить потенциальным крушением некоторых самых распространенных представлений о нашем мире, в том числе и о том, что его пространство просто является связанным, а история — неизменяемой.

Тем не менее сохраняется вопрос: можно ли отвергнуть замкнутые временеподобные кривые на одних только экспериментальных основаниях, как сделал Эйнштейн, или же кто-нибудь сумеет доказать, что теоретически они возможны, а значит, сконструировать машину времени?

Создание машины времени

В июне 1988 г. три физика (Кип Торн и Майкл Моррис из Калифорнийского технологического института и Ульви Юртсевер из Мичиганского университета) сделали первое серьезное

предложение по машине времени. Они убедили редакцию *Physical Review Letters*, одного из самых авторитетных изданий мира, что их работа заслуживает пристального внимания. (На протяжении десятилетий бредовые предложения, касающиеся путешествий во времени, десятками присылали в редакции крупных научных журналов, но все они были отвергнуты, поскольку не опирались на убедительные физические принципы или уравнения Эйнштейна.) Как подобало опытным ученым, авторы идеи представили свои доводы, изложенные принятым в научных кругах языком, а затем подробно объяснили самые слабые места своих допущений.

Торн и его товарищи поняли: чтобы преодолеть скептицизм научного сообщества, им понадобится опровергнуть стандартные возражения против использования «червоточин» как машин времени. Во-первых, как уже упоминалось ранее, сам Эйнштейн понял, что силы гравитации в центре черной дыры настолько велики, что любой космический корабль в ней будет разорван. Несмотря на то что «червоточины» возможны с математической точки зрения, на практике они бесполезны.

Во-вторых, «червоточины» могут оказаться нестабильными. Можно доказать, что незначительных возмущений в «червоточине» достаточно, чтобы разрушить мост Эйнштейна–Розена. Таким образом, присутствия космического корабля внутри черной дыры хватит, чтобы вызвать возмущение, способное перекрыть вход в «червоточину».

В-третьих, чтобы пройти «червоточину» насквозь и выйти с другой стороны, надо двигаться со скоростью, превышающей скорость света.

В-четвертых, квантовые эффекты будут настолько велики, что «червоточина» может закрыться сама собой. Например, излучение входа в черную дыру способно не только уничтожить любого, кто попытается проникнуть в нее, но и закрыть этот вход.

В-пятых, в «червоточине» время замедляется, а в центре останавливается полностью. Таким образом, у «червоточин»

есть нежелательная особенность: космический путешественник, за которым наблюдают с Земли, в «червоточине» сначала замедляет скорость, а потом, в центре черной дыры, останавливается. Космический путешественник выглядит так, словно застывает во времени. Другими словами, требуется бесконечное долгое время, чтобы пройти сквозь «червоточину». Если предположить, что можно каким-то образом пройти сквозь центр «червоточины» и вернуться на Землю, искажение времени будет настолько велико, что на Земле успеют пройти миллионы и даже миллиарды лет.

По всем этим причинам решения с «червоточинами» никогда не воспринимали всерьез.

Торн — авторитетный специалист в области космологии, в принципе относившийся к машинам времени крайне скептически и даже пренебрежительно. Однако постепенно Торн заинтересовался этими изысканиями при весьма любопытных обстоятельствах. Летом 1985 г. Карл Саган послал Торну рукопись своей новой книги, романа «Контакт», в которой обстоятельно рассматривались научные и политические вопросы, связанные с эпохальным событием: вступлением в контакт с первыми внеземными формами жизни. Каждому ученому, задумавшемуся о жизни в космосе, приходится задаваться вопросом о том, как пробить световой барьер. Поскольку специальная теория относительности Эйнштейна явно не допускает путешествия со скоростью, превышающей скорость света, полеты к далеким звездам на обычных космических кораблях могут длиться тысячелетиями, и это означает, что межзвездные путешествия практически нереальны. Саган стремился придать книге максимальную научную точность, поэтому обратился к Торну с вопросом, нет ли какого-нибудь научно приемлемого способа обойти световой барьер.

Вопрос Сагана пробудил в Торне интеллектуальное любопытство. Это был откровенный, уместный с научной точки зрения вопрос, с которым один ученый обратился к другому, ожидая обдуманного ответа. Поскольку просьба Сагана была

необычного свойства, то, к счастью, Торн и его коллеги избрали нестандартный подход к задаче: они двинулись *в обратном направлении*. Как правило, физики начинают с конкретного астрономического объекта (нейтронной звезды, черной дыры, Большого взрыва), а затем решают уравнения Эйнштейна, чтобы найти искривление окружающего пространства. Напомним: суть уравнений Эйнштейна в том, что материя и энергия объекта определяют степень искривленности окружающего пространства и времени. Продолжая в том же духе, мы гарантированно обнаружим решения уравнений Эйнштейна для астрономически релевантных объектов, которые можно встретить в космосе.

Но в силу нестандартного характера просьбы Сагана Торн и его коллеги подошли к поискам решения с противоположной стороны. Для начала они примерно представили себе, что именно хотели бы обнаружить. Им требовалось решение уравнений Эйнштейна, в которых космический путешественник не разлетался бы на куски под приливным воздействием мощного гравитационного поля. Им нужна была стабильная «червоточина», которая вряд ли внезапно закроется в процессе путешествия. «Червоточина», продолжительность полета через которую измеряется днями, а не миллионами или миллиардами земных лет и т. п. Ученые руководствовались следующим принципом: чтобы путешественник во времени с достаточным комфортом вернулся назад во времени, проникнув в «червоточину». Только решив, как должна выглядеть их «червоточина», они приступили к вычислениям количества энергии, необходимого для ее создания.

Стоя на неортодоксальных позициях, они не заботились о том, приемлемы ли потенциальные потребности в энергии для науки XX в. Они считали ее технической проблемой какой-нибудь будущей цивилизации, которая действительно будет конструировать машину времени. Они стремились доказать, что их решение целесообразно с научной точки зрения, а не с экономической, и не имеет отношения к возможностям нынешней науки на Земле:

Как правило, физики-теоретики ставят вопрос так: каковы законы физики? Или: какие прогнозы эти законы дают насчет Вселенной? В этом номере мы задаемся другим вопросом: какие ограничения законы физики налагают на деятельность сколь угодно развитой цивилизации? Отсюда вытекают интригующие вопросы, относящиеся к самим законам. Мы начнем с вопроса о том, позволяют ли законы физики сколь угодно развитой цивилизации создавать и поддерживать в рабочем состоянии «червоточины» для межзвездных полетов⁴.

Разумеется, ключевая фраза здесь — «сколь угодно развитая цивилизация». Законы физики говорят о том, что возможно, а не о том, что практически осуществимо. Законы физики не зависят от затрат на их подтверждение. Таким образом, стоимость того, что теоретически возможно, может превосходить валовой национальный продукт планеты Земля. Торн и его коллеги не преминули указать, что мифическая цивилизация, способная обуздать «червоточины», должна быть «сколь угодно развитой», т. е. способной проводить все возможные эксперименты (даже если они неосуществимы для землян).

К своей радости, ученые с поразительной легкостью вскоре обнаружили на удивление простое решение, удовлетворяющее всем жестким ограничениям. Оно *не было* типичным решением для черной дыры, поэтому ученым не пришлось беспокоиться о проблеме гибели при коллапсировании звезды. Свое решение они назвали «проходимой червоточинной», чтобы отличить от других решений, «червоточины» в которых не проходимы для космического корабля. Обрадованные этой находкой, физики написали Сагану ответ, и он вставил некоторые предложенные идеи в свой роман. Простота решения так поразила ученых, что они не сомневались: это решение способен понять даже студент-старшекурсник. Осенью 1985 г. на заключительном экзамене по курсу общей теории относительности в Калифорнийском технологическом институте Торн предложил студентам решение с «червоточинной», не объясняя им, о чем речь, и попросил вывести ее физические свойства.

(Большинство студентов выполнили подробный математический анализ решения, но так и не поняли, что перед ними решение, допускающее путешествия во времени.)

Если бы студенты были повнимательнее на заключительном экзамене, они сумели бы вывести некоторые удивительные свойства «червоточины». Они обнаружили бы, что полет сквозь эту «проходимую червоточину» был бы таким же комфортным, как полет на самолете. Максимальная гравитационная сила, воздействие которой испытали бы путешественники, составила бы всего 1 g. Другими словами, их вес не превысил бы их вес на Земле. Более того, путешественникам не пришлось бы опасаться, что во время полета вход в «червоточину» закроется. «Червоточина» Торна всегда открыта. Вместо того чтобы продолжаться миллион или миллиард лет, полет через «проходимую червоточину» занял бы вполне приемлемое время. Моррис и Торн пишут, что «полет оказался бы вполне комфортным и продлился бы всего 200 дней или меньше»⁵.

Торн отмечает, что пока временные парадоксы, с которыми обычно сталкиваются персонажи в кино, не обнаружены: «После знакомства со сценариями научно-фантастических фильмов (к примеру, тех, в которых кто-то возвращается в прошлое и убивает сам себя) можно ожидать, что замкнутые времениподобные кривые создадут начальные траектории, кратные нулю» (т. е. невозможные)⁶. Однако Торн доказал, что замкнутые времениподобные кривые, которые появляются в его «червоточинах», *воспроизводят* прошлое, а не меняют его или создают временные парадоксы.

И наконец, представляя эти удивительные результаты научному сообществу, Торн писал: «Предложен новый тип решений для уравнений поля, выведенных Эйнштейном, — решений, которые описывают “червоточины”, в принципе проходимые для человека».

Разумеется, во всем этом есть одна загвоздка, из-за которой у нас до сих пор так и нет машин времени. Последним этапом расчетов Торна было прийти к точному представлению о природе материи и энергии, необходимых для создания удивитель-

ной «проходимой червоточины». Торн и его коллеги обнаружили, что в центре такой «червоточины» должна находиться некая «экзотическая» форма материи с необычными свойствами. Торн не замедлил указать, что существование этой экзотической формы материи, несмотря на всю ее необычность, вроде бы не противоречит никаким известным законам физики. При этом он предостерег, что в будущем ученые, возможно, докажут, что такой экзотической материи не существует. А пока она представляется вполне приемлемой формой материи — конечно, *если* иметь доступ к достаточно развитым технологиям. Торн с уверенностью пишет, что «из единственной “червоточины”» сколь угодно развитая цивилизация может сконструировать машину для путешествий назад во времени».

Эскиз машины времени

Однако всякий, кто читал Уэллса, будет разочарован эскизом машины времени, подготовленным Торном. Можно и не мечтать о том, чтобы устроиться в кресле в собственной гостиной, поворачивая циферблаты, глядя на мигающие лампочки и наблюдая обширную панораму истории, в том числе разрушительные мировые войны, взлеты и падения великих цивилизаций или плоды будущего научного прогресса.

Один из вариантов машины времени Торна состоит из двух камер, в каждой из которых содержатся две параллельные металлические пластины. Между каждой парой пластин создается мощное электрическое поле (более мощное, чем любое возможное при нынешнем уровне развития техники), которое разрывает ткань пространства-времени, образуя дыру в пространстве, соединяющем две камеры. Затем одна камера помещается в ракету, которая развивает скорости, близкие к световым, а другая остается на Земле. Так как «червоточина» способна связать два участка пространства с различным временем, часы в первой камере идут медленнее, чем часы во второй камере. Поскольку время в двух разных концах «черво-

точины» проходит с разной скоростью, каждый, кто попадает в «червоточину», немедленно перебрасывается в прошлое или будущее.

Другая машина времени выглядит следующим образом. Если удастся найти какую-то экзотическую материю, которой можно придавать форму, как металлу, тогда, вероятно, идеальной формой для машины времени будет цилиндр. Человек становится в центр этого цилиндра. Затем эта экзотическая материя искажает пространство и время вокруг, создавая «червоточину», соединенную с далеким участком Вселенной, имеющим другое время. В центре водоворота — человек, который испытывает гравитационную нагрузку силой не более $1 g$, после чего его затягивает в «червоточину», и он вдруг оказывается на другом конце Вселенной.

На первый взгляд, математическая логика Торна безупречна. Уравнения Эйнштейна действительно показывают, что решения для «червоточин» предусматривают разную скорость движения времени по обе стороны от «червоточины», поэтому путешествия во времени в принципе возможны. Конечно, весь фокус в том, как изначально создать такую «червоточину». Как не преминули указать Торн и его коллеги, главная проблема — управление достаточным количеством энергии для создания и поддержания в рабочем состоянии «червоточины» с экзотической материей.

В обычных условиях один из основных принципов элементарной физики гласит: все объекты обладают положительной энергией. Колеблющиеся молекулы, движущиеся автомобили, летающие птицы, взрывающиеся ракеты — все они имеют положительную энергию. (По определению энергия космического вакуума равна нулю.) Но если мы сумеем получить объекты с «отрицательной энергией» (т. е. объекты, энергетическая составляющая которых меньше, чем у вакуума), тогда сумеем и сформировать необычные пространственно-временные структуры, в которых время замкнуто в круг.

Эта довольно простая концепция имеет замысловато звучащее название: *усредненное слабое энергетическое условие*.

Как указывает Торн, *усредненное* слабое энергетическое условие необходимо нарушить; энергия на время должна стать *отрицательной*, чтобы путешествие во времени прошло успешно. Однако релятивисты с давних времен предают анафеме отрицательную энергию, понимая, что эта энергия делает возможной антигравитацию и множество других феноменов, подтверждение которым ни разу не было получено экспериментально.

Вместе с тем Торн спешит указать, что способ получения отрицательной энергии существует, а именно — посредством квантовой теории. В 1948 г. голландский физик Хендрик Казимир продемонстрировал, что квантовая теория может создавать отрицательную энергию, достаточно только взять две большие незаряженные параллельные металлические пластины. Как правило, здравый смысл подсказывает нам, что между этими двумя пластинами не действует сила, так как они электрически нейтральны. Но Казимир доказал, что вакуум, разделяющий эти две пластины, из-за принципа неопределенности Гейзенберга на самом деле воплощает бурную деятельность — постоянное появление и исчезновение триллионов частиц и античастиц. Они возникают неизвестно откуда и снова исчезают в вакууме. Поскольку они мимолетны, то преимущественно ненаблюдаемы, поэтому не противоречат никаким законам физики. Эти «виртуальные частицы» создают результирующую силу притяжения между пластинами, и Казимир предсказывал, что ее можно измерить.

Когда Казимир опубликовал свою статью, ее встретили крайне скептически. Как могут два электрически нейтральных объекта притягиваться друг к другу, вопреки тем самым классическим законам электричества? Это неслыханно! Однако в 1958 г. физик Маркус Спарнаай наблюдал этот эффект в лаборатории точно так, как и предсказывал Казимир. С тех пор он называется *эффектом Казимира*.

Один из способов использовать эффект Казимира — поместить две большие проводящие параллельные пластины у входа в каждую «червоточину», таким образом создавая с обеих сто-

рон отрицательную энергию. Как заключают Торн и его коллеги, «может выясниться, что среднее слабое энергетическое условие невозможно нарушить, значит, невозможны и “проходимые червоточины”, и путешествия во времени, и сбой причинно-следственной связи. Слишком рано переходить мост до того, как подойдешь к нему»⁷.

Пока что единства мнений по поводу машины времени Торна нет. Все согласны с тем, что решающий фактор — наличие полностью квантованной теории гравитации, способной закрыть вопрос раз и навсегда. Например, Стивен Хокинг указал, что излучение у входа в «червоточину» довольно велико, поэтому внесет свой вклад в компонент материи-энергии в уравнениях Эйнштейна. Эта обратная связь с уравнениями Эйнштейна деформирует вход в «червоточину», возможно, даже закроет его навсегда. Но Торн не согласен с тем, что этого излучения хватит, чтобы закрыть вход.

Именно здесь в дело вступает теория суперструн. Поскольку это полностью квантово-механическая теория, включающая как подраздел общую теорию относительности Эйнштейна, ее можно применить для вычисления поправок к изначальной теории «червоточин». В принципе, она позволит нам определить, осуществимо ли с физической точки зрения усредненное слабое энергетическое условие, а также будет ли открыт вход в «червоточину» все время, пока путешественники наслаждаются путешествием в прошлое.

Хокинг сдержанно отнесся к «червоточинам» Торна. Но ирония заключается в том, что сам Хокинг предложил новую, еще более фантастическую теорию «червоточин». Вместо того чтобы соединять настоящее с прошлым, Хокинг предлагает пользоваться «червоточинами» для установления связи нашей Вселенной с бесконечным множеством параллельных миров!

Сталкивающиеся вселенные

Природа не просто эксцентричнее, чем мы полагаем, — она эксцентричнее, чем мы способны предположить.

Джон Холдейн

Космолог Стивен Хокинг — одна из самых трагических фигур в науке. Страдая неизлечимым дегенеративным заболеванием, он упорно, несмотря на почти непреодолимые препятствия, продолжает научные исследования. Он потерял возможность управлять собственными руками, ногами, языком и наконец голосовыми связками, он прикован к инвалидному креслу и тем не менее по-прежнему остается инициатором новых направлений исследований. Любой физик, не настолько сильный духом, на месте Хокинга давно отказался бы от попыток разобраться в фундаментальных проблемах науки.

Стивен Хокинг не в состоянии держать в руке ручку или карандаш, поэтому все вычисления производит в уме, лишь изредка обращаясь за помощью к ассистенту. За немением голоса он пользуется механическими устройствами для общения с внешним миром. При этом Хокинг не только интенсивно занимается исследованиями, но и успел написать бестселлер «Краткая история времени» и читает лекции по всему миру.

Однажды мне довелось побывать в доме Хокинга неподалеку от Кембриджского университета, куда меня пригласили выступить на физической конференции, организованной самим Хокингом. У него в гостиной меня изумила впечатляющая коллекция хитроумных приспособлений, которыми

Хокинг пользуется, чтобы продолжать исследования. Например, у него на столе я увидел устройство, очень похожее на пюпитр для музыкальных партитур. Только этот пюпитр был устроен гораздо сложнее и умел аккуратно переворачивать страницы по одной, чтобы стоящую на нем книгу можно было читать. (Наверное, как и многие физики на моем месте, я с трепетом размышлял, хватило бы мне выносливости и силы воли продолжать заниматься наукой, не имея рук, ног и даже голоса, зато с самыми совершенными из существующих механическими приспособлениями.)

Хокинг — обладатель Лукасовской именной профессуры в области физики, он руководит в Кембриджском университете той же кафедрой, которую некогда возглавлял Исаак Ньютон. Подобно своему блистательному предшественнику, Хокинг взялся за одну из величайших задач века — окончательное объединение теории гравитации Эйнштейна и квантовой теории. В результате Хокинг пришел в восторг от элегантности и самосогласованности десятимерной теории и завершил книгу ее обсуждением.

Хокинг больше не тратит львиную долю своей созидательной энергии на работу в сфере, которая обеспечила ему мировую славу, не занимается черными дырами, интерес к которым остался в прошлом. Он охотится за добычей покрупнее: объединенной теорией поля. Как мы помним, теория струн зародилась как квантовая теория, а потом присоединила теорию гравитации Эйнштейна. Хокинг, который изначально был классическим релятивистом, а не квантовым теоретиком, подошел к проблеме с другой стороны. Вместе с коллегой Джеймсом Хартлом он начал с классической вселенной Эйнштейна, а потом проквантовал целую вселенную!

Волновая функция Вселенной

Хокинг — один из основоположников новой научной дисциплины, называемой *квантовой космологией*. Поначалу терми-

нология казалась противоречивой. Слово *квант* относится к бесконечно малому миру кварков и нейтрино, а *космология* ассоциируется с почти бесконечным космическим пространством. Однако Хокинг и его последователи убеждены, что на основные вопросы космологии можно ответить только с помощью квантовой теории. Хокинг подводит квантовую космологию к окончательному квантовому заключению, допускающая существование бесконечного множества параллельных вселенных.

Как мы помним, отправная точка квантовой теории — волновая функция, описывающая все возможные состояния частицы. К примеру, представим себе огромную грозовую тучу неправильной формы, заволакивающую небо. Чем темнее туча, тем выше концентрация водяного пара и пыли в этой точке. Таким образом, достаточно просто взглянуть на тучу, чтобы оценить вероятность обнаружения высокой концентрации воды и пыли в определенных местах на небе.

Эту тучу можно сравнить с волновой функцией единственного электрона. Подобно грозовой туче, она заполняет все пространство. Чем больше ее величина в какой-либо точке, тем выше вероятность обнаружить там электрон. Аналогичным образом волновая функция может ассоциироваться с крупными объектами, например людьми. Сидя в кресле у себя в Принстоне, я знаю, что обладаю шрёдингеровской вероятностной волновой функцией. Если бы мне как-нибудь удалось увидеть собственную волновую функцию, она напомнила бы мне облако в форме моего тела. Однако часть этого облака распространилась бы по всему пространству вплоть до Марса и даже за пределы Солнечной системы, хотя была бы в этом случае исчезающе малой. Это означает, что вероятность моего пребывания в кресле, а не на планете Марс, довольно велика. Несмотря на то что отчасти моя волновая функция распространилась за пределы галактики Млечный Путь, вероятность того, что я сижу в другой галактике, бесконечно мала.

Новая идея Хокинга заключалась в том, чтобы воспринимать вселенную в целом так, словно она представляет собой

квантовую частицу. Повторив несколько простых шагов, мы придем к выводу, который открывает нам глаза.

Начнем с волновой функции, описывающей *совокупность всех возможных вселенных*. Это означает, что отправной точкой теории Хокинга должен быть бесконечный ряд параллельных вселенных — *волновая функция Вселенной*. Довольно простой анализ Хокинга, в котором слово *частица* заменено словом *Вселенная*, привел к перевороту в наших представлениях о космологии.

Согласно этой картине волновая функция Вселенной распространяется во всех возможных вселенных. Подразумевается, что эта волновая функция довольно велика вблизи нашей Вселенной, следовательно, есть немалая вероятность, что наша Вселенная и есть та, которая нам нужна, чего и следовало ожидать. Но волновая функция распространяется и на все остальные вселенные, в том числе безжизненные и несовместимые с привычными нам законами физики. Поскольку волновая функция предполагается для этих прочих вселенных исчезающе малой, мы не рассчитываем, что наша Вселенная сделает квантовый скачок к ним в ближайшем будущем.

Цель, стоящая перед квантовыми космологами, — подтвердить эту догадку математически, показать, что волновая функция Вселенной велика для нашей нынешней Вселенной и исчезающе мала для остальных. Это доказывало бы, что привычная для нас Вселенная в некотором смысле уникальна и вместе с тем стабильна. (В настоящее время специалисты по квантовой космологии не в силах решить эту важную задачу.)

Если отнестись к доводам Хокинга со всей серьезностью, это означает, что начать анализ следует с бесконечного количества всех возможных вселенных, сосуществующих друг с другом. Или, попросту говоря, определение *Вселенной* теперь не сводится к выражению «все, что существует». Теперь это означает «все, что может существовать». Например, на рис. 12.1 мы видим, как волновая функция Вселенной может распространиться на несколько возможных вселенных, причем наша окажется наиболее вероятной, но определенно

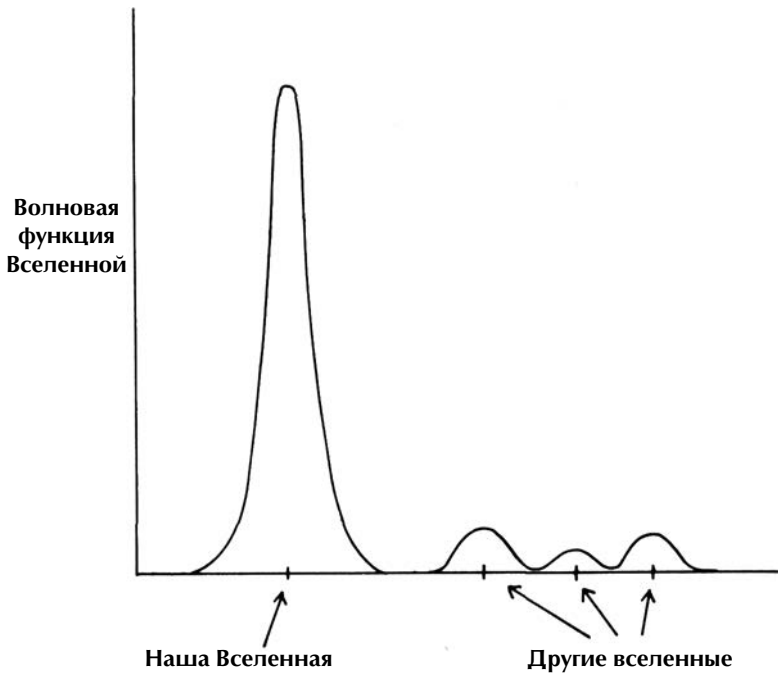


Рис. 12.1. Волновая функция вселенной Хокинга с наибольшей вероятностью сосредоточена вокруг нашей Вселенной. Мы живем в нашей Вселенной, поскольку это наиболее подходящий и наиболее вероятный вариант. Однако есть маленькая, но не исчезающая вероятность, что волновая функция предпочитает соседние, параллельные вселенные. Таким образом, переходы между вселенными возможны (хотя и очень маловероятны)

не единственной. Квантовая космология Хокинга также подразумевает, что волновая функция Вселенной позволяет этим вселенным сталкиваться. «Червоточины» могут возникать и соединять эти вселенные. Однако это не те «червоточины», с которыми мы имели дело в предыдущих главах, не те, которые соединяют разные области трехмерного пространства: в данном случае «червоточины» соединяют друг с другом разные вселенные.

Представим себе, к примеру, множество мыльных пузырей, зависших в воздухе. При нормальных условиях каждый такой пузырь представляет собой вселенную, он периоди-

чески сталкивается с другими пузырями и сливается в один большой или делится на два пузыря поменьше. Отличие в том, что теперь каждый мыльный пузырь — целая десятимерная вселенная. Так как пространство и время могут существовать только на каждом пузыре, между ними нет ни пространства, ни времени. У каждой вселенной свое «время», ограниченное ею одной. Незачем добавлять, что время во всех этих вселенных идет с одинаковой скоростью. (Однако следует подчеркнуть, что путешествия между вселенными недоступны для нас из-за примитивного уровня развития нашей техники и технологии. Более того, необходимо отметить, что большие квантовые переходы в таких масштабах крайне редки, их частота сопоставима с продолжительностью существования нашей Вселенной.) Большинство таких вселенных мертвы, полностью лишены признаков жизни. В этих вселенных действуют другие законы физики, следовательно, физические условия, благодаря которым жизнь стала возможной, не сложились. Может быть, среди миллиардов параллельных миров только один, наш, обладает тем набором физических законов, который нужен для появления жизни (рис. 12.2).

Теория «дочерней вселенной» Хокинга хотя и не предлагает практические методы транспортировки, тем не менее поднимает философские и, возможно, даже религиозные вопросы. Она уже породила два затяжных спора в кругах космологов.

Возвращение Бога во Вселенную?

Первый из этих споров касается антропного принципа. На протяжении веков ученые привыкли рассматривать Вселенную в целом независимо от человеческого фактора. Мы больше не проецируем наши, человеческие предрассудки и фантазии на каждое научное открытие. Но на первых порах ученые древности часто впадали в антропоморфизм, подразумевающий наличие человеческих свойств у объектов и животных. Эту ошибку совершает каждый, кто усматривает в поведении своих

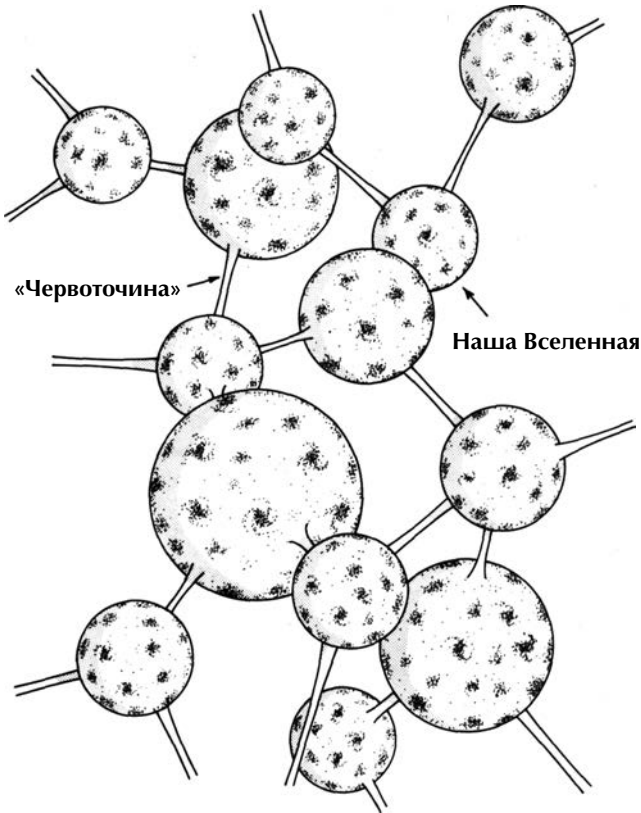


Рис. 12.2. Наша Вселенная может оказаться одним из бесчисленного множества параллельных миров, каждый из которых связан с остальными бесконечным множеством «червоточин». Путешествия по этим «червоточинам» возможны, но чрезвычайно маловероятны

питомцев проявление человеческих эмоций и чувств. (Этому же заблуждению подвержены голливудские сценаристы, полагающие, что другие планеты, движущиеся вокруг звезд, обязательно должны быть населены существами, похожими на нас.)

Антропоморфизм — давняя проблема. Ионийский философ Ксенофан некогда сетовал: «Люди полагают, что боги должны рождаться, иметь одежду, голоса и формы, подобные людским...

И, конечно, боги эфиопов черны и плосконосы, боги фракийцев — рыжеволосы и голубоглазы». В последние десятилетия некоторые космологи пришли в ужас, обнаружив, что в их сфере деятельности антропоморфизм прокрался под маской антропного принципа, сторонники которого открыто заявляли, что не прочь привести Бога обратно в науку.

На самом деле есть несколько научных плюсов в этой странной полемике об антропном принципе, вращающейся вокруг неоспоримого факта: даже при незначительном изменении физических констант нашей Вселенной жизнь в ней была бы невозможна. Что это — счастливое совпадение или признак действия некой Высшей сущности?

Известны две разновидности антропного принципа. Слабый антропный принцип гласит, что сам факт существования во Вселенной разумной жизни (т. е. нас) следует воспринимать как экспериментальный факт, помогающий нам понять константы Вселенной. Как объясняет нобелевский лауреат Стивен Вайнберг, «мир таков, каков он есть, по крайней мере отчасти по той причине, что в противном случае некому было бы спрашивать, почему он так устроен»¹. Сформулированный таким образом слабый антропный принцип трудно оспорить.

Для того чтобы во Вселенной существовала жизнь, требуется редкое стечение множества обстоятельств и совпадений. Жизнь, которая зависит от разнообразных и сложных биохимических реакций, легко может оказаться невозможной, стоит только изменить хотя бы чуть-чуть некоторые химические и физические константы. К примеру, при малейшем изменении констант ядерной физики нуклеосинтез и образование тяжелых элементов в звездах и сверхновых могут оказаться недостижимыми. В этом случае атомы могут стать нестабильными или неспособными создавать сверхновые. От тяжелых элементов (элементов тяжелее железа) зависит жизнь, в частности образование ДНК и молекул белка. Таким образом, малейшее изменение в ядерной физике сделает невозможным синтез тяжелых элементов в звездах Вселенной. Мы — дети звезд, но если законы ядерной физики хоть немного изменятся, тогда

наши «родители» не смогут произвести на свет «потомство» (нас). Еще пример: можно с уверенностью утверждать, что развитие жизни в первичном океане заняло, вероятно, 1–2 млрд лет. Но если бы продолжительность существования протона сократилась до нескольких миллионов лет, тогда не было бы жизни. Просто не хватило бы времени, чтобы она возникла из произвольных столкновений молекул.

Другими словами, сам факт нашего существования во Вселенной и возникновения вопросов о ней означает неизбежность сложной последовательности событий. Это значит, что физические константы природы должны соответствовать определенному диапазону величин, чтобы звезды жили достаточно долго, чтобы успели образоваться тяжелые элементы для нашего организма, чтобы протоны не распались прежде, чем успеет зародиться жизнь, и т. д. Иначе говоря, существование людей, способных задаваться вопросами о Вселенной, налагает уйму жестких ограничений на физику Вселенной — к примеру, на ее возраст, химический состав, температуру, размер и физические процессы в ней.

Высказываясь по поводу этих космических совпадений, физик Фримен Дайсон писал: «Когда мы глядяемся во Вселенную и выявляем многочисленные события и обстоятельства в физике и астрономии, которые все вместе сложились в нашу пользу, порой создается впечатление, что Вселенная каким-то образом предчувствовала наше появление». И мы приходим к сильному антропному принципу, который гласит, что все физические константы Вселенной были придирчиво выбраны (Богом или неким Высшим существом), чтобы в нашей Вселенной могла появиться жизнь. Поскольку сильный вариант антропного принципа поднимает вопросы о сущности Бога, в кругах ученых он порождает гораздо больше споров.

Пожалуй, появление жизни могло быть вызвано слепым случаем, если бы требовалось всего несколько констант природы. Но в действительности для того, чтобы в нашей Вселенной зародилась жизнь, довольно узким диапазонам величин должен соответствовать целый ряд физических констант.

Поскольку случайности такого типа крайне маловероятны, возможно, высший разум (Бог) прицельно выбрал именно эти величины, создавая жизнь.

Первое знакомство с той или иной версией антропного принципа обычно застаёт ученых врасплох. Физик Хайнц Пейджелс вспоминал: «Эта разновидность логики совершенно чужда обычному подходу физиков-теоретиков к своей работе»².

Антропный аргумент — более изощренный вариант давнего аргумента, что Бог поместил Землю как раз на таком расстоянии от Солнца, какое требуется. Если бы Бог расположил Землю слишком близко к Солнцу, развитию жизни на ней помешала бы жара. Если бы Бог поместил Землю чересчур далеко, на ней было бы слишком холодно. Ошибочность этого довода заключается в том, что миллионы планет в галактике находятся на неоптимальном расстоянии от своих солнц и жизнь на них невозможна. Однако некоторые планеты по чистой случайности расположены по отношению к своему солнцу именно так, как надо. Наша планета — одна из них, из этого и следует исходить при обсуждении данного вопроса.

В конце концов большинство ученых разочаровалось в антропном принципе, так как он не имеет предсказательной силы и его невозможно проверить. Пейджелс нехотя заключил, что «в отличие от принципов физики, антропный принцип не позволяет определить, верен он или нет; способов проверить его не существует. В отличие от общепринятых принципов физики, антропный принцип не является объектом экспериментальной фальсификации — верный признак того, что он не относится к научным»³. Физик Алан Гут высказывается напрямик: «В эмоциональном отношении антропный принцип чем-то раздражает меня... К этому принципу люди обращаются, когда не могут придумать ничего получше»⁴.

С точки зрения Ричарда Фейнмана, цель физика-теоретика — «как можно быстрее доказать свою ошибку»⁵. Но антропный принцип бесплоден, его невозможно опровергнуть. Или, как сказал Вайнберг, «хотя наука явно невозможна без ученых, неочевидно то, что Вселенная невозможна без науки»⁶.

Полемика об антропном принципе (а значит, о Боге) на долгие годы утихла и лишь недавно оживилась вновь, благодаря волновой функции Вселенной Хокинга. Если Хокинг прав, тогда действительно существует бесконечное множество параллельных вселенных, часто имеющих иные физические константы. В некоторых из них распад протонов может происходить слишком стремительно, в звездах не образуется достаточного количества элементов тяжелее железа, Большое сжатие случается слишком быстро после возникновения жизни и т. п. В сущности, бесконечное множество параллельных вселенных умирает, так как физические законы в них не способствуют развитию жизни в том виде, в каком мы ее знаем.

В одной из таких вселенных, параллельной нашей, законы физики совместимы с известной нам жизнью. Доказательством служит то, что сегодня мы обсуждаем этот вопрос. Если так, тогда, возможно, незачем ссылаться на Бога, чтобы объяснить, почему жизнь, которую мы ценим такой, какая она есть, возможна в нашей Вселенной. Однако мы вновь открываем возможность слабого антропного принципа, т. е. нашего сосуществования с множеством умерших вселенных, среди которых только наша совместима с жизнью.

Второй спор, вызванный волновой функцией Хокинга, более глубок, и, в сущности, он до сих пор не получил разрешения. Он носит название проблемы кота Шрёдингера.

Еще раз о коте Шрёдингера

Поскольку теория «дочерних вселенных» и «червоточин» Хокинга пользуется возможностями квантовой теории, она неизбежно вызывает так и не разрешенный спор о фундаментальных вопросах. Волновая функция Хокинга не разрешает полностью парадоксы квантовой теории, она всего лишь представляет их в новом неожиданном свете.

Как мы помним, квантовая теория гласит, что для каждого объекта есть волновая функция, определяющая вероятность

нахождения этого объекта в той или иной точке пространства и времени. Кроме того, согласно квантовой теории, состояние частицы невозможно узнать без наблюдения. Прежде чем сделаны измерения, частица может находиться в одном из разнообразных состояний, описанных волновой функцией Шрёдингера. Таким образом, до того, как сделано измерение (наблюдение), узнать состояние частицы нельзя. По сути дела, пока не проведено измерение, состояние частицы — ни то ни се, *сумма всех возможных состояний*.

Когда эта идея впервые была выдвинута Нильсом Бором и Вернером Гейзенбергом, Эйнштейн восстал против нее. «Неужели Луна существует только потому, что мышь смотрит на нее?» — любил спрашивать он. Согласно строгой интерпретации квантовой теории, Луна до момента наблюдения не существует в том виде, в каком мы ее знаем. Ведь Луна может находиться в любом из бесконечного множества состояний, в том числе пребывать на небесах, взрываться, вообще быть где-то в другом месте. Именно наблюдения за Луной и измерения определяют, что на самом деле она движется вокруг Земли.

Эйнштейн не раз ввязывался в жаркие споры с Нильсом Бором, оспаривая столь неортодоксальный взгляд на мир. (В одном таком случае Бор раздраженно заявил Эйнштейну: «Вы не мыслите. Вы просто демонстрируете логику!»⁷) Даже Эрвин Шрёдингер (из-за знаменитых волновых уравнений которого и начался спор) протестовал против такой интерпретации его уравнений. Однажды он посетовал: «Мне это настолько не нравится, что я сожалею о своей причастности»⁸.

Ставя под сомнение ревизионистскую интерпретацию, критики спрашивали: «А кот жив или мертв до того, как его увидят?»

Демонстрируя, насколько абсурден этот вопрос, Шрёдингер поместил воображаемого кота в запечатанный ящик. На кота направлено оружие, соединенное со счетчиком Гейгера, который, в свою очередь, соединен с некоторым количеством урана. Атом урана нестабилен и подвержен радиоактивному распаду. Если ядро атома урана распадется, счетчик Гей-

гера зафиксирует это, вызовет срабатывание оружия и пуля убьет кота.

Для того чтобы определить, мертв кот или жив, мы должны открыть ящик и увидеть кота. Но в каком состоянии находится кот до того, как мы откроем ящик? Согласно квантовой теории, мы можем утверждать только, что кота описывает волновая функция, относящаяся как к живому, так и к мертвому коту.

С точки зрения Шрёдингера, сама мысль о том, что кот и не живой, и не мертвый — апофеоз абсурда, тем не менее экспериментальное подтверждение квантовой механики вынуждает нас прийти именно к такому выводу. В настоящее время все эксперименты подтверждают квантовую теорию.

Парадокс кота Шрёдингера настолько невероятен, что напоминает реакцию Алисы на исчезновение Чеширского кота у Льюиса Кэрролла: «Значит, до вечера, — сказал Кот и исчез. Не сказать, чтобы Алиса так уж сильно этому удивилась — она уже привыкла ко всяким чудесам»*. С годами физики тоже привыкли к «чудесам» квантовой механики.

Есть как минимум три основных способа справиться с этой путаницей, которыми могут воспользоваться физики. Во-первых, можно допустить, что Бог существует. Поскольку все «наблюдения» подразумевают наличие наблюдателя, следовательно, во Вселенной должно быть некое «сознание». Некоторые физики, подобно лауреату Нобелевской премии Юджину Вигнеру, утверждали, что квантовая теория доказывает существование во Вселенной всеобщего космического сознания того или иного рода.

Второй способ справиться с парадоксом предпочитает подавляющее большинство ныне работающих физиков, и этот способ — игнорировать проблему. Большинство физиков, возражающих, что в камере можно проводить измерения и в отсутствие какого-либо сознания, просто желают, чтобы каверзная, но неизбежная проблема исчезла сама собой.

* Пер. Б. Заходера. — *Прим. пер.*

Физик Ричард Фейнман однажды сказал: «Думаю, можно с уверенностью утверждать, что квантовую механику не понимает никто. По возможности следует воздержаться и не задаваться вопросом “Как такое может быть?”, поскольку есть риск зайти в тупик, откуда еще никто не находил выхода. Никто не знает, как такое может быть»⁹. Довольно часто можно услышать, что квантовая теория — глупейшая из всех теорий XX в. Кое-кто утверждает, что квантовая теория может претендовать лишь на бесспорную корректность.

Но есть и третий способ справиться с этим парадоксом, называемый *многомировой интерпретацией*. Эта теория, как и антропный принцип, в последние десятилетия впала в немилость, но возродилась благодаря волновой функции Хокинга.

Множество миров

В 1957 г. физик Хью Эверетт высказал предположение о том, что в процессе эволюции Вселенная постоянно «раздваивается», как дорога у развилки. В одной Вселенной атом урана не распадается, и кот остается в живых. В другой атом урана распадается, и кот погибает. Если Эверетт прав, существует бесконечное множество вселенных. Каждая вселенная соединена с другими целой сетью «дорожных развилок». Или, как писал аргентинец Хорхе Луис Борхес в «Саду расходящихся тропок», «вечно разветвляясь, время ведет к неисчислимым вариантам будущего».

Физик Брайс Девитт, один из сторонников многомировой теории, описал неизгладимое впечатление, которое она произвела на него: «Каждый квантовый переход, происходящий на каждой звезде, в каждой галактике и каждом отдаленном уголке Вселенной, раскалывают наш местный мир на Земле на мириады копий самого себя. До сих пор отчетливо помню, какое потрясение испытал, впервые столкнувшись с этой концепцией множества миров»¹⁰. Согласно постулату многоми-

ровой теории, *все* возможные квантовые миры существуют*. В некоторых мирах, подобно господствующей форме жизни на Земле, живут человеческие существа. В других — события в субатомной сфере препятствовали возникновению человека.

Физик Фрэнк Вильчек писал:

Говорят, история мира сложилась бы совершенно иначе, если бы у Елены Троянской на носу была бородавка. Так вот, бородавки возникают из-за мутации единственной клетки, нередко вызываемой ультрафиолетовыми лучами солнца. Вывод: существует множество миров, в которых у Елены Троянской *действительно* была бородавка на носу¹¹.

В сущности, идея множественности вселенных стара. Святой и философ Альберт Магнус писал: «На самом ли деле существует много миров или есть только один мир? Это один из самых благородных и волнующих вопросов в изучении Природы». Однако древней идее придан современный оттенок: многочисленные миры решают парадокс кота Шрёдингера. В одной вселенной кот может оказаться мертвым, в другой — живым.

Какой бы странной ни казалась многомировая теория Эверетта, можно доказать, что она математически эквивалентна обычной интерпретации квантовой теории. Но так сложилось, что многомировая теория не пользуется популярностью среди физиков. Отвергнуть ее невозможно, но сама идея *бесконечного* множества в равной степени действительных вселенных, каждая из которых ежеминутно делится надвое, — философский кошмар для физиков, любящих простоту. В физике применяется так называемый принцип Оккама, согласно которому выбирать всегда следует самый простой путь, игнорируя усложненные альтернативы, особенно если они не поддаются измерению. (Так, принцип Оккама отвергает давнюю теорию эфира, согласно которой некогда всю Вселенную напол-

* В России сегодня эти идеи развивает профессор ФИАН М.Б. Менский. — Прим. науч. ред.

нял таинственный газ. Теория эфира давала удобный ответ на каверзный вопрос: если свет — волна и если свет может распространяться в вакууме, тогда что же такое волнообразные колебания? Ответ состоял в том, что эфир, подобно жидкости, совершает колебания даже в вакууме. Эйнштейн доказал необязательность существования эфира. Однако он никогда не утверждал, что эфира не существует — просто сказал, что он нерелевантен. Таким образом, следуя принципу Оккама, физики больше не обращаются к эфиру.)

Можно показать, что связь между многочисленными мирами Эверетта невозможна. Следовательно, каждая вселенная не подозревает о существовании других. Если эксперименты не могут подтвердить существование этих миров, нам следует в соответствии с принципом Оккама исключить их.

Продолжая в том же духе, физики воздерживаются от категорических заявлений о том, что ангелов и чудес не бывает. Возможно, и те и другие есть. Но чудеса почти по определению не повторяются регулярно, следовательно, их нельзя количественно оценить в ходе эксперимента. Значит, в соответствии с принципом Оккама их надо игнорировать (конечно, если мы не найдем воспроизводимое и измеримое чудо или ангела). Один из авторов многомировой теории, наставник Эверетта Джон Уилер нехотя отвергал и то и другое, так как «слишком тяжело таскать такой громоздкий метафизический багаж»¹².

Однако ситуацию с непопулярностью многомировой теории может исправить постепенный рост популярности волновой функции Хокинга применительно к Вселенной. В основу теории Эверетта положены одиночные частицы и невозможность коммуникации между вселенными после их разделения. Теория Хокинга хотя и связана с вышеупомянутой, тем не менее заходит дальше: в ее основе лежит бесчисленное множество самосогласованных вселенных (а не только частиц), и сама теория постулирует возможность туннелирования между ними (по «червоточинам»).

Хокинг даже нашел решение волновой функции Вселенной. Он убежден в правильности своего подхода отчасти потому,

что теория четко определена (если, как уже упоминалось, окончательно теория определена в десяти измерениях). Его цель — показать, что волновая функция Вселенной принимает большие значения вблизи вселенной, похожей на нашу. Таким образом, наша вселенная почти наверняка является вселенной, но определенно не единственной.

К настоящему моменту прошел ряд международных конференций, посвященных волновой функции Вселенной. Но, как и прежде, с математической точки зрения волновая функция Вселенной находится за пределами вычислительных способностей людей, живущих на нашей планете, и нам, возможно, придется ждать много лет, прежде чем какой-нибудь энтузиаст найдет точное решение уравнений Хокинга.

Параллельные миры

Главное различие между многомировой теорией Эверетта и волновой функцией Хокинга для Вселенной заключается в центральной идее Хокинга о «червоточинах», соединяющих параллельные вселенные. Однако не стоит воображать, что однажды вы отправитесь домой с работы, откроете дверь, попадете в параллельную вселенную и обнаружите, что ваши близкие никогда о вас не слышали. Вместо того чтобы кинуться встречать вас после трудного дня, ваша семья замечается в панике, завопит, что в доме чужак, и вас арестуют за незаконное вторжение. Подобные сценарии возможны только в кино. Согласно Хокингу, «червоточины» постоянно соединяют нашу Вселенную с миллиардами миллиардов параллельных вселенных, однако в среднем размер этих «червоточин» чрезвычайно мал и сопоставим с планковской длиной (примерно в 100 миллиардов миллиардов раз меньше протона, т. е. слишком маленький для перемещения человека). Более того, поскольку крупные квантовые переходы между вселенными — редкое явление, возможно, такого события придется ждать очень долго — дольше, чем существует Вселенная.

Таким образом, в полном соответствии с законами физики (хотя и *крайне* маловероятно) кто-нибудь может попасть в параллельную вселенную, парную нашей, которая выглядит в точности как наша, за исключением одного маленького, но важного отличия, возникшего в некий момент времени, когда эти вселенные разделились.

О параллельных мирах такого типа писал Джон Уиндем в рассказе «Поиски наугад» (Random Quest). Британский физик-ядерщик Колин Трэффорд чуть не погибает в 1954 г. из-за несчастного случая в ходе опыта. Вместо того чтобы оказаться в больнице, он обнаруживает, что цел и невредим и находится в отдаленном районе Лондона. Трэффорд радуется, что так легко отделался, но вскоре понимает: все-таки что-то произошло. Заголовки в газетах невероятны. Второй мировой войны никогда не было. Ни о какой атомной бомбе и речи нет.

Всемирная история сложилась по-другому. Более того, случайно взглянув на полку в магазине, Трэффорд замечает собственную фамилию и фотографию и обнаруживает, что он автор бестселлера. Он потрясен. Его точная копия существует в этом мире, вдобавок он не физик, а писатель!

Неужели он видит сон? Много лет назад он подумывал стать писателем, а стал физиком. По-видимому, в этой параллельной вселенной был избран иной путь.

Трэффорд листает лондонский телефонный справочник и находит свою фамилию в списке, но адрес, указанный в нем, ему незнаком. Пораженный Трэффорд решает побывать «у себя дома».

В «своей» квартире он изумленно знакомится со «своей» женой, которую никогда прежде не видел, — красивой женщиной, возмущенной «его» многочисленными романами с другими женщинами. Она упрекает его за измены, но замечает, что ее муж чем-то озадачен. Трэффорд обнаруживает, что его двойник — негодяй и распутник, и понимает, что не может дать отпор прекрасной незнакомке, хотя она и считает себя его женой. По-видимому, они с двойником поменялись вселенными.

Постепенно Трэффорд влюбляется в «собственную» жену. И не понимает, как его двойник может столь пренебрежительно обходиться с этой прелестной женщиной. Следующие несколько недель, проведенных вместе, становятся лучшими в их жизни. Трэффорд решает загладить все обиды, которые его двойник нанес жене за долгие годы. Но, когда супруги словно узнают друг друга заново, Трэффорд вдруг оказывается брошенным обратно в свою вселенную и разлучен с любимой. В привычной вселенной он предпринимает отчаянные поиски «своей жены». И узнает, что у людей, живущих в его вселенной, есть двойники в другой — не у всех, но у большинства. Трэффорд приходит к выводу, что у его «жены» должен быть двойник где-то в этом мире.

Как одержимый, он хватается за любую зацепку, старается припомнить все, что ему известно о парных вселенных. Вооружившись познаниями в области истории и физики, он заключает, что два мира разошлись в своем развитии из-за какого-то поворотного события в 1926-м или 1927 г. Трэффорд считает, что разделить вселенные мог некий единственный случай.

Тогда он принимается педантично исследовать историю нескольких семей. Он тратит все свои сбережения, опрашивает десятки людей и наконец находит семью «своей жены». В конце концов он обнаруживает в своей вселенной ту самую женщину и женится на ней.

Нападение гигантских «червоточин»

Один из гарвардских физиков, ввязавшихся в споры относительно «червоточин», — Сидни Коулмен. Напоминая одновременно Вуди Аллена и Альберта Эйнштейна, он бродит по коридорам Джефферсон-Холла, пытаясь убедить скептиков в правильности своей новейшей теории «червоточин». С усами, как у Чаплина, взъерошенной эйнштейновской шевелюрой и в мешковатом свитере Коулмен выделяется в любой толпе.

В настоящее время он утверждает, что решил широко известную задачу космологической постоянной, над которой физики ломали головы последние 80 лет.

Его работе был посвящен номер *Discover Magazine* с анонсом на обложке и статьей под названием «Параллельные вселенные: новая реальность от самого эксцентричного гарвардского физика». Не менее одержим Коулмен и научной фантастикой: будучи ее фанатом, он даже стал соучредителем издательства Advent Publishers, выпускающего аналитическую литературу по научной фантастике.

В настоящее время Коулмен активно старается заинтересовать критиков, утверждающих, что ученые не сумеют подтвердить теории «червоточин» при нашей жизни. Если мы верим в «червоточины» Торна, нам придется ждать до тех пор, когда кто-нибудь откроет экзотическую материю или освоит эффект Казимира. А пока у наших машин времени нет «двигателя», способного перенести нас в прошлое. Аналогично, если мы верим в «червоточины» Хокинга, нам придется путешествовать в «воображаемом времени», чтобы преодолевать расстояния между «червоточинами». Так или иначе, положение дел весьма плачевно с точки зрения среднестатистического физика-теоретика, которого раздражают недостатки и ограничения технологии XX в., а об управлении планковской энергией остается лишь мечтать.

Здесь и приходит на помощь работа Коулмена. Недавно он заявил, что «червоточины» способны дать весьма осязаемый и измеримый результат уже в настоящем, а не в отдаленном и непредсказуемом будущем. Как мы указывали ранее, согласно уравнениям Эйнштейна содержание материи-энергии в объекте определяет искривление пространства-времени вокруг него. Эйнштейн задавался вопросом: может ли содержать энергию чистый вакуум пустого пространства? Неужели полная пустота лишена энергии? Эта энергия вакуума численно оценивается с помощью так называемой *космологической постоянной*; в принципе, ничто не мешает космологической постоянной появиться в уравнениях. Эйнштейн счи-

тал ее название безобразным с точки зрения эстетики, но так и не смог исключить ее по физическим или математическим соображениям.

В 20-х гг. XX в., когда Эйнштейн искал решение своих уравнений для Вселенной, к своей огромной досаде он обнаружил, что Вселенная расширяется. В те времена было принято считать Вселенную статичной и неизменной. Подгоняя свои уравнения таким образом, чтобы препятствовать расширению Вселенной, Эйнштейн вставил в решение крошечную космологическую постоянную, выбранную с таким расчетом, чтобы приравнять стороны уравнения и принудительно получить статичную Вселенную. В 1929 г., когда Хаббл убедительно доказал, что Вселенная действительно расширяется, Эйнштейн отказался от космологической постоянной и назвал ее «самым большим просчетом» в своей жизни.

Сегодня нам известно, что космологическая постоянная очень близка к нулю. При наличии малой отрицательной космологической постоянной притяжение гравитации будет огромным, а размеры Вселенной составят несколько метров в поперечнике. (Протянув руку, вы сможете коснуться стоящего впереди человека, который окажется вами.) При малой положительной космологической постоянной гравитация будет действовать как отталкивающая сила, и тогда все разлетится от вас так быстро, что свет так и не дойдет до вас. Но поскольку ни тот, ни другой ужасный сценарий мы не наблюдаем, мы уверены в том, что космологическая постоянная близка к нулю или даже равна ему.

Тем не менее эта проблема вновь всплыла в 1970-е, когда началось активное изучение нарушений симметрий в Стандартной модели и теориях Великого объединения. При каждом нарушении симметрии в вакуум выбрасывается огромное количество энергии. В сущности, вакуум заполняет энергия, по количеству в 10^{100} раз превосходящая наблюдаемую в ходе экспериментов. Бесспорно, это отклонение в 10^{100} раз — самое большое в физике. Больше мы нигде не встречаем такого существенного расхождения между теорией (которая пред-

сказывает появление огромной энергии в вакууме всякий раз, когда нарушается симметрия) и экспериментом (при котором измеренная космологическая постоянная во Вселенной равна нулю). Именно здесь на сцене и появляются «червоточины» Коулмена: они необходимы, чтобы сократить нежелательные добавления к космологической постоянной.

Согласно Хокингу, других вселенных, сосуществующих с нашей, может быть бесчисленное множество, и все они связаны друг с другом бесконечной сетью переплетающихся «червоточин». Коулмен попытался просуммировать добавления этого бесконечного множества. Вместе с суммой он получил неожиданный результат: для волновой функции Вселенной предпочтительнее нулевая космологическая постоянная, что и требовалось. Если космологическая постоянная равна нулю, волновая функция становится очень большой, и это означает, что вероятность найти вселенную с нулевой космологической постоянной чрезвычайно велика. Мало того, волновая функция Вселенной быстро обращается в нуль, если космологическая постоянная отлична от нуля, а это означает нулевую вероятность нахождения такой нежелательной Вселенной. Именно это и требовалось, чтобы сократить космологическую поправку. Другими словами, космологическая поправка равнялась нулю по той причине, что этот результат был наиболее вероятным. Единственный эффект наличия миллиардов параллельных вселенных — в том, что он не дал космологической поправке в нашей Вселенной стать отличной от нуля.

Благодаря этому важному результату физики немедленно заинтересовались данной сферой. «Когда Сидни обнародовал свои результаты, запрыгали все», — вспоминает физик из Стэнфорда Леонард Сасскинд¹³. Со свойственным ему озорством Коулмен привнес в публикацию этих важных результатов толику юмора. «Вполне возможно, что я, ни о чем не подозревая, по шею погрузился в зыбучий песок, и меня продолжает быстро затягивать», — писал он¹⁴.

Коулмену нравится поражать слушателей объяснениями важности этой проблемы, давать понять, что вероятность

сокращения космологической постоянной до одной доли от 10^{100} невероятно мала. «Представьте себе, что на протяжении десяти лет вы потратили миллионы долларов, не вспоминая о размерах своей зарплаты, а когда наконец сравнили то, что заработали, с тем, что потратили, баланс сошелся до последнего пенни», — предлагает он¹⁵. Таким образом, вычисления Коулмена, показывающие, что можно сократить космологическую постоянную до одной доли от 10^{100} , дали в высшей степени нетривиальный результат. Не забыв украсить этот пирог глазурью, Коулмен подчеркивает, что «червоточины» решают также еще одну задачу: помогают определить величины фундаментальных постоянных Вселенной. Коулмен добавляет: «Это был совершенно иной механизм в сравнении с любимыми другими из тех, что рассматривались. Это Бэтмен, раскачивающийся на канате»¹⁶.

Но начала всплывать и критика; особенно часто его упрекают в том, что согласно допущению Коулмена «червоточины» малы, сопоставимы по размерам с планковской длиной и что он забыл просуммировать большие «червоточины». По мнению критиков, в сумму также следует включить большие «червоточины». Но, поскольку мы нигде не видим больших, зримых «червоточин», по-видимому, в вычислениях есть досадный изъян.

Глазом не моргнув, Коулмен отвечает критикам привычным для него способом: выбирая эпатажные заголовки для своих статей. Чтобы доказать, что большими «червоточинами» в его вычислениях можно пренебречь, он опубликовал свои контрдоводы и озаглавил их «Бегство от угрозы гигантских «червоточин»». Когда ему задали вопрос насчет названия статьи, он ответил: «Если бы Нобелевскую премию давали за названия, я бы свою уже получил»¹⁷.

Если бы чисто математические доводы Коулмена оказались корректными, они дали бы убедительное экспериментальное свидетельство тому, что «червоточины» — неотъемлемая особенность всех физических процессов, а не просто неосуществимая мечта. Это означало бы, что «червоточины», соеди-

няющие нашу Вселенную с бесконечным множеством мертвых вселенных, играют важную роль, не давая нашей Вселенной скрутиться в тугой крошечный шарик или расшириться с невероятной скоростью. Отсюда следовало бы, что «червоточины» — существенная особенность, благодаря которой наша Вселенная сравнительно стабильна.

Но, как и с большинством исследований, в которых фигурирует планковская длина, с окончательным решением уравнений для «червоточин» придется подождать до тех пор, пока мы не разберемся как следует в квантовой гравитации. Многим уравнениям Коулмена требуется средство устранения бесконечностей, типичных для всех квантовых теорий гравитации, а это подразумевает использование теории суперструн. В частности, нам, по-видимому, придется дождаться момента, когда мы сможем с уверенностью вычислить конечные квантовые поправки к теории Коулмена. Многим из этих неожиданных прогнозов придется ждать, когда мы усовершенствуем свои вычислительные инструменты.

Как мы уже подчеркнули, проблема носит преимущественно теоретический характер. Нам просто не хватает математических способностей, чтобы взломать эти четко определенные задачи. Уравнения на доске словно дразнят нас, а мы в настоящее время не в силах найти для них строгое конечное решение. Как только физики лучше разберутся в планковской энергии, перед ними откроется целая Вселенная новых возможностей. Тот, кто по-настоящему подчинит себе энергию, соответствующую планковской длине, станет повелителем всех фундаментальных сил. К этой теме мы и обратимся далее. Когда же нам предстоит стать повелителями гиперпространства?

Часть IV

**Повелители
гиперпространства**

За пределами будущего

Что означает возраст миллион лет для цивилизации? Всего несколько десятилетий мы располагаем радиотелескопами и космическими кораблями; история нашей техники насчитывает несколько сотен лет... развитая цивилизация, возраст которой — миллионы лет, ушла от нас так же далеко, как мы ушли от галаго или макак.

Карл Саган

Физик Пол Дэвис однажды высказался о том, чего нам следует ждать, когда мы разгадаем загадки объединения всех взаимодействий в единую суперсилу. Он писал, что «мы сможем менять структуру пространства и времени, самостоятельно вязать узлы в пустоте и создавать материю, как по заказу. Управление суперсилой позволит нам конструировать и преобразовывать частицы по желанию, порождая таким образом экзотические формы материи. Возможно, мы сумеем даже оперировать размерностью самого пространства, создавать причудливые рукотворные миры с невообразимыми свойствами. Воистину мы станем властителями Вселенной»¹.

Когда нам удастся обуздать силу гиперпространства? Экспериментальное подтверждение теории гиперпространства, по крайней мере косвенное, может быть получено уже в XXI в. Но запасы энергии, необходимые для оперирования десятимерным пространством-временем (а не только для подтверждения) и превращения во «властителей Вселенной», в ближайшие столетия останутся недостижимыми для нашего уровня развития техники и технологии. Как мы уже убедились, чтобы совершать почти чудеса, например создавать «червоточины»

или менять ход времени, необходимо колоссальное количество материи-энергии.

Для того чтобы повелевать десятым измерением, мы должны либо вступить в контакт с имеющейся в галактике разумной жизнью, представители которой уже научились управлять энергией астрономического уровня, либо еще несколько тысяч лет приобретать это умение самостоятельно. К примеру, наши нынешние ускорители частиц могут придать частице энергию, превышающую 1 ТэВ (эта энергия возникает, если электрон ускоряется в поле с разностью потенциалов 1 ТэВ). Крупнейший на данный момент ускоритель находится в Женеве, Швейцария, им управляет консорциум 14 европейских стран. Но и его энергия незначительна по сравнению с необходимой для изучения гиперпространства — 10^{19} млрд эВ, что в квадрильон раз больше, чем энергия, которую мог бы обеспечивать сверхпроводящий суперколлайдер.

Квадрильон, единица с пятнадцатью нулями после нее, может показаться невообразимо большим числом. Для исследования этой невероятной энергии требуется ускоритель длиной миллиарды миль или же принципиально иная технология. Даже если мы потратим валовой национальный продукт всех стран мира и построим сверхмощный ускоритель частиц, мы и тогда не сумеем получить энергию, близкую к необходимой. Прежде всего потому, что управление энергией такого уровня — невыполнимая задача.

Однако необходимое количество энергии уже не покажется нам абсурдно огромным, если мы поймем, что технология развивается *экспоненциально* — этот факт нам трудно охватить разумом. Для того чтобы понять, насколько стремителен экспоненциальный рост, представьте себе бактерию, которая делится надвое каждые 30 минут. Если ее развитию ничто не препятствует, тогда всего через несколько недель единственная бактерия породит колонию, масса которой сопоставима с массой планеты Земля.

Люди живут на этой планете около 2 млн лет, однако быстрое и неуклонное движение к современной цивилиза-

ции в последние 200 лет стало возможным благодаря экспоненциальному росту научных знаний, т. е. темпы роста пропорциональны объему уже накопленных знаний. Чем больше мы знаем, тем быстрее можем узнать еще больше. Так, за период, прошедший после окончания Второй мировой войны, мы накопили больше знаний, чем за все 2 млн лет эволюции на этой планете. По сути дела, количество знаний, которыми располагают наши ученые, удваивается примерно каждые 10–20 лет.

Таким образом, важно иметь возможность проанализировать историю нашего развития. Чтобы оценить экспоненциальный рост техники и технологии, проанализируем эволюцию человечества, сосредоточив внимание на энергии, доступной среднестатистическому человеку. Это поможет нам в соответствующей исторической перспективе рассмотреть энергию, необходимую для исследований десятимерной теории.

Развитие цивилизации по экспоненциальному закону

Сегодня мы, не задумываясь, отправляемся на воскресную прогулку за город в автомобиле с двигателем мощностью 200 лошадиных сил. Но на протяжении почти всей эволюции человечества в распоряжении среднестатистического человека находилось гораздо меньше энергии.

В давние времена основным источником энергии была сила наших рук, составляющая примерно одну восьмую лошадиной. Люди странствовали по земле небольшими группами, охотились и собирали пищу во многом так же, как стайные животные, пользуясь одной только энергией своих мышц. Ситуация с энергией начала меняться лишь в последние 100 000 лет. С изобретением ручных инструментов люди получили возможность усилить мощность собственных конечностей. Копья прибавили силы рукам, дубинки — кулакам, ножи — челю-

стям. В этот период энергия, вырабатываемая человеком, удвоилась, составив примерно четверть от лошадиной.

По прошествии примерно 10 000 лет энергия, вырабатываемая человеком, снова увеличилась в два раза. Основной причиной этих перемен стал, вероятно, конец ледникового периода, который затормозил развитие человечества на тысячи лет.

Человеческое общество, на протяжении сотен тысяч лет состоявшее из небольших групп охотников и собирателей, заметно изменилось с открытием земледелия вскоре после таяния ледников. Кочующие группы, которым больше было незачем преследовать добычу на равнинах и в лесах, образовывали небольшие поселения там, где урожай можно было собирать круглый год. После таяния ледникового щита стало возможным одомашнивание таких животных, как лошади и буйволы, и мощность энергии, доступной человеку, выросла примерно до одной лошадиной силы.

Вместе с расслоением земледельческого общества появилось и разделение труда, постепенно в обществе произошли важные изменения: переход к рабовладельческому строю. Это означало, что один человек, рабовладелец, мог распоряжаться энергией сотен рабов. Этот внезапный рост энергии спровоцировал нечеловеческую жестокость и вместе с тем способствовал появлению первых настоящих городов, правители которых приказывали своим рабам управлять примитивными подъемниками, рычагами и блоками, воздвигая крепости и памятники для господ. Благодаря этому росту энергии в пустынях и лесах выросли храмы, башни, пирамиды, огромные города.

С энергетической точки зрения на протяжении почти 99,99% времени существования человечества на Земле технологический уровень нашего вида был всего на шаг впереди по отношению к животным. Лишь в последние несколько столетий людям стала доступна мощность, превышающая одну лошадиную силу.

Несомненные перемены пришли с началом промышленной революции. Открытие Ньютоном законов всемирного тяготения и движения позволило свести механику к ряду четко

определенных уравнений. Таким образом, классическая теория силы тяготения Ньютона в каком-то смысле проложила путь для современной теории машин и механизмов. Благодаря этому в XIX в. стало возможным широкое распространение паровых двигателей; применение пара позволило среднестатистическому человеку управлять энергией мощностью десятки и сотни лошадиных сил. К примеру, появление железных дорог способствовало освоению целых материков, паровым судам обязана своим развитием современная международная торговля. Источником энергии и для того, и для другого служил пар, подогреваемый с помощью угля.

Человечеству понадобилось более 10 000 лет, чтобы создать современную цивилизацию не только на территории Европы. При наличии паровых, а позднее и работающих на жидком топливе двигателей в США в течение одного столетия прошла индустриализация. Таким образом, управление всего одной фундаментальной силой природы существенно увеличило энергию, доступную человеку, и необратимо изменило общество.

К концу XIX в. изучение Максвеллом силы электромагнитного взаимодействия вновь произвело революцию в использовании энергии. Электромагнитная сила сделала возможной электрификацию наших городов и домов, экспоненциально повысила универсальность и мощность наших машин. Паровые двигатели были заменены мощными генераторами.

В последние 50 лет открытие силы ядерного взаимодействия в миллион раз увеличило энергию, доступную одному человеку. Так как энергия химических реакций измеряется в электронвольтах, а энергия расщепления и слияния — в миллионах электронвольт, у нас появилась возможность пользоваться мощностью, увеличившейся в миллион раз.

Анализ исторического изменения потребностей человека в энергии наглядно свидетельствует о том, что на протяжении всего 0,01% времени нашего существования мы пользуемся энергией, по уровню значительно превосходящей энергию, доступную животным. Тем не менее всего за несколько столетий мы сумели высвободить огромное количество энер-

гии электромагнитного и ядерного взаимодействия. А теперь оставим в покое прошлое и поговорим о будущем, пользуясь теми же методами, чтобы понять, в какой момент мы сможем управлять суперсилой.

Цивилизации I, II и III типа

Футурология, или предсказание будущего на основании рациональных научных суждений, — рискованная наука. Кое-кто вообще считает ее не наукой, а чем-то вроде фокусов или колдовства. Футурология заслуженно пользуется этой сомнительной славой: все «научные» опросы о следующем десятилетии, проведенные с участием футурологов, угодили мимо цели. Прimitивность футурологии как науки объясняется тем, что нам свойственно мыслить линейно, а знания развиваются экспоненциально. К примеру, опросы футурологов показали, что они берут известные достижения технологии и просто удваивают или утраивают их, предсказывая будущее. Опросы в 1920-х гг. показали, что футурологи предсказывали: через несколько десятилетий целый флот дирижаблей будет возить пассажиров через Атлантику.

Однако наука выбирает неожиданные пути развития. В краткосрочной перспективе, при экстраполяции на несколько лет, можно с уверенностью предсказывать, что наука будет неуклонно осуществлять количественные усовершенствования существующих технологий. Но при экстраполяции на несколько десятилетий мы видим, что определяющим фактором становятся качественные прорывы в новых сферах и открытие новых отраслей в неожиданных местах.

Вероятно, самый известный промах футурологов — предсказания Джона фон Неймана, отца современного компьютера и одного из самых выдающихся математиков столетия. После войны он сделал два прогноза: согласно первому в будущем компьютеры станут настолько громоздкими и дорогостоящими, что их смогут позволить себе лишь правительства раз-

витых стран; согласно второму — компьютеры смогут точно предсказывать погоду.

В действительности развитие компьютеров продолжалось в противоположном направлении: нас захлестнул вал недорогих, миниатюрных компьютеров, уместающихся на ладони. Компьютерные чипы стали настолько дешевыми и многочисленными, что теперь являются неотъемлемой частью современной бытовой техники. У нас уже есть «умная» пишущая машинка («текстовый процессор») и, скорее всего, со временем появятся «умный» пылесос, «умная» кухня, «умный» телевизор и т. д. При этом даже самые мощные компьютеры не научились предсказывать погоду. Хотя классическое движение отдельных молекул в принципе предсказуемо, изменение погоды — настолько сложный процесс, что достаточно одного чиха, чтобы вызвать искажения, которые при распространении на тысячи миль усилятся и, возможно, в конце концов вызовут ураган.

После всех этих предостережений давайте определимся, когда цивилизация (либо наша, либо другая космическая) получит возможность управлять десятым измерением. Астроном Николай Кардашев из бывшего Советского Союза однажды классифицировал цивилизации будущего следующим образом:

- Цивилизация I типа контролирует энергетические ресурсы целой планеты. Эта цивилизация способна управлять погодой, предотвращать землетрясения, внедряться в глубины земной коры и пользоваться дарами океанов. Она уже завершила исследование своей солнечной системы.
- Цивилизация II типа контролирует энергию самого Солнца. И это не просто пассивное ее использование: цивилизация данного типа осваивает Солнце. Ее энергетические потребности настолько велики, что мощность Солнца эксплуатируется непосредственно для приведения в действие машин. Эта цивилизация начнет колонизацию местной солнечной системы.
- Цивилизация III типа контролирует энергию всей галактики. Источником энергии ей служат миллиарды звезд-

ных систем. Вероятно, представители этой цивилизации уже освоили уравнения Эйнштейна и могут по своему желанию манипулировать пространством-временем.

Базис этой классификации довольно прост: деление на уровни производится в зависимости от источника, снабжающего цивилизацию энергией. Цивилизация I типа пользуется энергией целой планеты. Цивилизация II типа — энергией целой звезды. Цивилизация III типа — энергией всей галактики. Эта классификация оставляет без внимания любые предсказания, относящиеся к подробностям характера будущих цивилизаций (подробностям, которые наверняка ошибочны) и вместо этого сосредотачивается на таких аспектах, которые могут быть поняты посредством законов физики, например снабжении энергией.

Нашу цивилизацию, в отличие от перечисленных, можно отнести к нулевому типу, так как она лишь начинает черпать планетарные ресурсы, но не располагает технологическими и другими возможностями, чтобы контролировать их. Цивилизация нулевого типа, подобная нашей, пользуется энергией ископаемых видов топлива, таких как нефть и уголь, а во многих странах третьего мира источником энергии служит физический труд человека. Даже самые мощные наши компьютеры не могут ни предсказывать погоду, ни тем более управлять ею. Если оценивать нас с этой точки зрения, мы — новорожденная цивилизация.

Нетрудно догадаться, что медленное продвижение от нулевого типа к третьему может занять миллионы лет, но данная классификация примечательна в первую очередь тем, что в ней подразумевается экспоненциальное развитие, следовательно, процесс идет гораздо быстрее, чем мы можем себе представить.

Со всеми этими оговорками мы все-таки можем высказать обоснованные предположения о том, когда наша цивилизация достигнет обозначенных вех в развитии. Приняв во внимание темпы развития нашей цивилизации, мы можем ожидать, что через несколько столетий достигнем статуса I типа.

Например, самый мощный источник энергии, доступный нашей цивилизации нулевого типа, — водородная бомба.

Наши технологии настолько примитивны, что высвободить энергию водородного синтеза мы можем лишь при взрыве бомбы, а не при управлении генератором мощности. Однако простой ураган создает мощность сотен водородных бомб. Таким образом, контроль над погодой, характерная особенность цивилизации I типа, может быть доступен нам в пределах столетия.

К I типу относятся цивилизации, уже колонизировавшие большую часть своей солнечной системы. Однако сфера космических путешествий в наше время развивается такими темпами, что их масштаб измеряется десятилетиями, следовательно, качественных скачков вроде колонизации космоса придется ждать веками. К примеру, высадка на Марс запланирована НАСА не раньше 2020 г. Значит, колонизация Марса может произойти через 40–50 лет после этого, а колонизация Солнечной системы — в течение столетия.

Для сравнения: переход от I типа к II типу может занять всего 1000 лет. Учитывая экспоненциальное развитие цивилизации, следует ожидать, что в течение тысячелетия потребности цивилизации в энергии так возрастут, что ей придется осваивать Солнце, чтобы приводить в действие машины.

Пример цивилизации II типа — Федерация планет, изображаемая в сериале «Звездный путь». Эта цивилизация только начала овладевать силой гравитационного взаимодействия, т. е. искусством деформации пространства-времени с помощью «червоточин», поэтому впервые получила возможность добираться до ближайших звезд. Она обошла ограничение, налагаемое скоростью света, освоив Общую теорию относительности Эйнштейна. В некоторых звездных системах были основаны небольшие колонии, защита которых — обязанность космического корабля «Энтерпрайз». Звездные корабли этой цивилизации приводятся в движение с помощью процесса столкновения материи и антиматерии. Способность создавать высокую концентрацию антиматерии, пригодную для космических путешествий, свидетельствует о том, что эта цивилизация опередила нашу на много веков или даже на тысячелетие.

Переход к III типу может занять как минимум несколько тысячелетий. Эти временные масштабы предсказал Айзек Азимов в цикле «Основание» (Foundation), рассказывающем о возвышении, падении и возрождении галактической цивилизации. Согласно выбранной шкале времени, каждый из перечисленных этапов занимает несколько тысячелетий. Цивилизация, о которой идет речь, обуздала источник энергии, содержащийся в самой галактике. Для нее варп-двигатель — не экзотическое средство для путешествия к ближайшим звездам, а обычный способ передвижения, способствующий торговым отношениям между секторами галактики. Таким образом, несмотря на то что нашему виду понадобилось 2 млн лет, чтобы выйти из-под надежной защиты лесов и построить современную цивилизацию, потребуется всего несколько тысячелетий, чтобы покинуть безопасную Солнечную систему и построить галактическую цивилизацию.

Одна из возможностей, открытых перед цивилизацией III типа, — управление энергией сверхновых звезд или черных дыр. Ее корабли даже исследуют ядро галактики — вероятно, самый загадочный из всех источников энергии. Астрофизики полагают, что из-за гигантских размеров этого ядра в центре нашей галактики могут насчитываться миллионы черных дыр. Если это предположение справедливо, то они могут стать источником практически неограниченных количеств энергии.

На этом этапе уже предполагается управление энергиями, в миллион миллиардов раз превосходящими нынешние. Таким образом, для цивилизации III типа, располагающей энергией бесчисленных звездных систем и, возможно, ядра галактики, управление десятым измерением должно стать реальностью.

«Астрочикен»

Однажды я обедал с физиком Фрименом Дайсоном из Института перспективных исследований. Дайсон — видная фигура в мире физики, он занимается самыми сложными и трудно-

разрешимыми вопросами, стоящими перед человечеством: например, новыми направлениями космических исследований, природой внеземной жизни, будущим цивилизации.

В отличие от других физиков, которые придерживаются исключительно своей узкой специализации, богатое воображение увлекает Дайсона в путешествия по всей галактике. «Я не могу по примеру Бора и Фейнмана годами сидеть, всецело углубившись в какую-то одну проблему. Меня интересует слишком много самых разных направлений», — признался он². Худощавый, на удивление подвижный, с совиным лицом оксфордского преподавателя и остатками британского акцента, Дайсон завел со мной продолжительный разговор на разнообразные темы, затрагивая немало идей, которые долгие годы занимали его.

Рассматривая переход нашей цивилизации к состоянию, характерному для I типа, Дайсон отмечает, что наша примитивная космическая программа предусматривает развитие не в том направлении. В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению полезной нагрузки и промежутков времени между запусками, что сильно тормозит исследование космоса. В своих статьях Дайсон предлагает радикальное отступление от этой тенденции и применение так называемого «Астрочкикена» (*Astrochicken* — буквально «звездная курица»).

Маленький, легкий и наделенный интеллектом «Астрочкикен» — универсальный космический зонд, имеющий несомненное преимущество перед громоздкими, баснословно дорогими космическими аппаратами прошлого — «узким местом» космических исследований. «Если “Вояджер” весит тонну, то “Астрочкикен” — всего килограмм, — заявляет Дайсон. — “Астрочкикен” предполагается не строить, а выращивать. Он будет проворным, как колибри, мозг которой весит не более грамма»³.

Эта полумашина-полуживотное будет создана с помощью новейших достижений в биоинженерии. Несмотря на малые размеры, ее мощности хватит для изучения далеких планет, таких как Уран и Нептун. Ей не понадобится большой запас

ракетного топлива; ее предстоит вывести и запрограммировать таким образом, чтобы она «питалась» льдом и углеводородами, содержащимися в кольцах планет. Желудок «Астрочикена», продукт генной инженерии, сможет преобразовывать эти материалы в химическое топливо. Утолив голод, аппарат направится к ближайшей Луне или планете. Основные особенности «Астрочикена» — результаты прорывов в генной инженерии, искусственный интеллект и солнечный электроракетный двигатель. Учитывая поразительный прогресс в этих сферах, Дайсон полагает, что необходимые для создания «Астрочикена» технологии появятся в нашем распоряжении уже к 2016 г.

Рассматривая развитие цивилизации в целом, Дайсон считает также, что при нынешних темпах развития мы можем достичь статуса I типа уже через несколько столетий. Он не думает, что переход от одного типа к другому окажется очень трудным. По оценкам Дайсона, разница в масштабах и мощности для цивилизаций разных типов составляет примерно 10 млрд раз. Это число может показаться огромным, тем не менее цивилизация, развивающаяся вялыми темпами порядка 1% в год, завершит переход за 2500 лет. Это практически гарантирует неуклонное приближение цивилизации к III типу.

Дайсон писал: «Общество, наделенное выраженным стремлением к экспансии, расширит свою территорию, вместо единственной планеты (I тип) всего за несколько тысячелетий займет биосферу целой звезды (II тип), а потом и всей галактики (III тип), на что ей понадобится лишь несколько миллионов лет. Вид, который миновал стадию развития, соответствующую II типу, уже неуязвим и вряд ли вымрет даже в случае худших из возможных стихийных бедствий или искусственных катастроф»⁴.

Но есть одна проблема. Дайсон пришел к выводу, что переход от II к III типу может сопровождаться существенными физическими затруднениями, главным образом в силу ограничений, налагаемых скоростью света. Экспансия цивилизации II типа неизбежно будет происходить со скоростью меньше

световой, и это, по мнению Дайсона, в значительной мере затормозит ее развитие.

Сумеет ли цивилизация II типа пробить световой барьер и оковы специальной теории относительности, пользуясь мощностью гиперпространства? В этом Дайсон не уверен. Не исключен любой вариант, но, как он напомнил мне, планковская длина чрезвычайно мала, а энергия, необходимая для исследований на таком расстоянии, невообразима. «Возможно, — задумчиво добавил Дайсон, — планковская длина — естественный барьер, с которым сталкиваются все цивилизации».

Цивилизации III типа в космосе

Если долгий путь к статусу цивилизации III типа кажется нам слишком отдаленной перспективой, то, возможно, когда-нибудь мы вступим в контакт с представителями внеземной цивилизации, уже подчинившими себе гиперпространство и готовыми поделиться с нами своими технологиями. Загвоздка в том, что мы не видим признаков существования в небесах хоть сколько-нибудь развитой цивилизации — не только в нашей Солнечной системе, но и в нашем секторе галактики. Наши космические зонды, особенно «Викинг», совершивший посадку на Марсе в 1970-х гг., и «Вояджер», запущенный к Юпитеру, Сатурну, Урану и Нептуну в 1980-х гг., отправили на Землю обескураживающую информацию о том, что наша Солнечная система сурова, мрачна и безжизненна.

На двух самых перспективных планетах, Венере и Марсе, не оказалось даже следов жизни, а тем более развитых цивилизаций. Венеру, названную именем богини любви, астрономы и романтики некогда воображали цветущей, тропической планетой. А наши космические зонды обнаружили пустыню с суровым климатом, душливой атмосферой с преобладанием углекислого газа, невыносимой температурой более 800 °F (400 °C) и токсичными сернокислыми дождями.

Марс, который стал объектом гипотез еще до того, как в 1938 г., во времена Великой депрессии, Орсон Уэллс вызвал в стране панику радиоспектаклем по роману Герберта Уэллса о вторжении марсиан, вызвал не меньшее разочарование. Выяснилось, что на этой унылой пустынной планете нет никаких следов поверхностной воды. Руслу древних рек и давно пересохших океанов оставили неизгладимый след на поверхности Марса, но мы не нашли ни руин, ни каких-либо иных следов цивилизации.

Продолжая поиски за пределами нашей Солнечной системы, ученые проанализировали радиоизлучение ближайших звезд и получили столь же безрадостные результаты. Дайсон подчеркивал, что любая развитая цивилизация, согласно второму закону термодинамики, неизбежно должна вырабатывать огромные количества избыточного тепла. Энергопотребление этой цивилизации должно быть гигантским, так что даже малую толику этого избыточного тепла могли бы легко уловить наши приборы. Таким образом, утверждает Дайсон, при сканировании ближайших звезд наши приборы должны выявить красноречивые свидетельства избыточного тепла, порожденного развитой цивилизацией. Но, где бы мы ни проводили сканирование, мы до сих пор не нашли ни следов избыточного тепла, ни радиосвязи цивилизаций I, II и III типов. К примеру, на своей планете мы освоили радио и телевидение за прошедшие полвека. В итоге нашу планету окружает сфера радиоволн радиусом около 50 световых лет. Если на какой-либо звезде, отделенной от Земли расстоянием не более 50 световых лет, есть разумная жизнь, ее представители должны обнаружить наше присутствие. Аналогично цивилизации II и III типов должны распространять довольно мощное электромагнитное излучение, причем делать это непрерывно на протяжении последних нескольких тысячелетий, чтобы представители любой разумной жизни на расстоянии нескольких тысяч световых лет обнаружили присутствие этих цивилизаций.

В 1978 г. астроном Пол Горовиц провел сканирование всех звездных систем, подобных Солнечной (общим числом

185) и находящихся в пределах 80 световых лет от нашей, но не обнаружил никаких следов радиоизлучения, созданного разумной жизнью. Астрономы Доналд Голдсмит и Тобиас Оуэн в 1979 г. сообщили о поисках среди более чем 600 звездных систем, и о том, что тоже получили отрицательные результаты. Этот проект SETI (search for extraterrestrial intelligence — поиск внеземного разума) регулярно постигали неудачи. (В порядке поощрения и в виде редкой демонстрации щедрости по отношению к науке в 1992 г. конгресс одобрил предложение выделить \$100 млн на десятилетний период исследований микроволнового излучения высокого разрешения, т. е. сканирование ближайших звезд в поисках разумной жизни. На эти средства в Аресибо, Пуэрто-Рико, был установлен радиотелескоп с гигантским 305-метровым рефлектором, специально для систематического выборочного сканирования звезд, находящихся на расстоянии не более 100 световых лет от Земли. Его дополнила 34-метровая подвижная радиоантенна в Голдстоуне, Калифорния, способная прочесывать огромные участки ночного неба. После долгих лет отрицательных результатов астроном Фрэнк Дрейк из Университета Калифорнии в Санта-Крус осторожно, но оптимистично сообщил, что им и его коллегами были обнаружены явные признаки разумной жизни. Он замечает: «Во многих человеческих сообществах наука развивалась независимо, благодаря сочетанию любознательности и попыток изменить жизнь к лучшему, и я считаю, что и на других существ действует подобная мотивация»).

Задача усложняется, когда мы понимаем, что вероятность развития разумной жизни в нашей галактике на редкость велика. Дрейк даже вывел простую формулу для подсчета количества планет в галактике, на которых имеются разумные формы жизни.

К примеру, в нашей галактике около 200 млрд звезд. Чтобы получить примерное количество звезд с разумными формами жизни, можно произвести следующие грубые подсчеты. Можно с осторожностью предположить, что из этих звезд 10% — желтые, похожие на наше Солнце, что у 10% из них есть пла-

неты на орбитах, что у 10% от них есть планеты, подобные Земле, что у 10% этих похожих на Землю планет есть атмосфера, пригодная для жизни, что у 10% есть атмосфера, подобная земной, и в ней развиваются некие формы жизни, что на 10% от этого количества имеются те или иные формы разумной жизни. Это означает, что из 200 млрд звезд галактики лишь на одной миллионной есть хоть сколько-нибудь разумные формы жизни. Следовательно, у 200 000 звезд есть планеты, приютившие разумную жизнь. Чуть более оптимистичные подсчеты по формуле Дрейка показывают, что разумная жизнь в среднем может находиться на расстоянии порядка 15 световых лет от нашего Солнца.

Благодаря недавнему усовершенствованию компьютерных технологий ученые сумели уточнить исходные упрощенные вычисления Дрейка. К примеру, Джордж Уэзерилл из Вашингтонского Института Карнеги с помощью компьютера смоделировал первые этапы эволюции нашей Солнечной системы, начиная с вращения огромного газопылевого диска вокруг Солнца. Он предоставил компьютеру возможность развивать процесс до тех пор, пока из пыли не начали образовываться небольшие каменные скопления. Ученый приятно удивился, обнаружив, что планеты размером примерно с Землю легко развиваются из этих твердых ядер. В сущности, чаще всего планеты размером с Землю образовывались спонтанно, их масса составляла 80–130% расстояния Земли от Солнца. (Что любопытно, Уэзерилл обнаружил также, что формирование планет размером с Юпитер имеет большое значение для эволюции планет размером с Землю. Планеты размером с Юпитер необходимы для оттягивания роя комет и обломков, которые в противном случае попадали бы в планету размером с Землю и уничтожали бы любые примитивные формы жизни на ней. Компьютерная модель Уэзерилла показала, что без планеты размером с Юпитер, отводящей все эти кометы с помощью своего колоссального гравитационного притяжения, кометы ударялись бы о планету, подобную Земле, в 1000 раз чаще, чем это бывает в дей-

ствительности, в итоге разрушительные столкновения происходили бы каждые 100 000 лет.)

Таким образом, напрашивается убедительный (но не категорический) вывод, что законы вероятности говорят в пользу наличия других разумных существ в галактике. Поскольку возраст нашей галактики — примерно 10 млрд лет, ей с избытком хватило времени для процветания десятков различных форм разумной жизни. Цивилизации II и III типов, дающие излучение в течение нескольких сотен или нескольких тысяч лет, должны создавать легко выявляемую сферу электромагнитного излучения диаметром от нескольких сотен до нескольких тысяч световых лет. Но мы пока не видим признаков разумной жизни в небесах.

Почему?

На вопрос, почему мы не в состоянии выявить признаки разумной жизни на расстоянии, не превышающем 100 световых лет от нашей планеты, отвечает несколько гипотез. Ни одна из них не кажется удовлетворительной, но истиной может оказаться сочетание их всех.

Согласно одной теории формула Дрейка позволяет оценить вероятное количество планет, на которых возможно существование разумной жизни, но ничего не говорит нам о том, какого уровня развития достигла жизнь на этих планетах. Если учесть астрономические временные масштабы, о которых идет речь, возможно, формула Дрейка предполагает разумные формы жизни, существовавшие за миллионы лет для нас или способные появиться через миллионы лет после нас.

Рассмотрим пример: возраст нашей Солнечной системы — примерно 4,5 млрд лет. Жизнь зародилась на Земле примерно 3–4 млрд лет назад, но лишь в последний миллион лет жизнь на планете стала разумной (и только в последние несколько десятилетий цивилизация построила радиостанции, способные посылать сигналы в космос). Но 1 млн лет по сравнению с миллиардами лет временной шкалы — всего лишь миг. Логично допустить, что тысячи развитых цивилизаций существовали и погибли еще до того, как наши давние предки вышли из лесов,

или что тысячи цивилизаций разовьются спустя долгое время после того, как погибнет наша. Так или иначе, мы не сумеем обнаружить их с помощью имеющихся приборов.

Согласно второй теории галактика, в сущности, кишит развитыми формами цивилизаций, однако они развиты настолько, что скрываются от наших любопытных приборов. Для этих форм жизни мы ничего не значим, так как они опередили нас в развитии на много миллионов лет. Так, если мы, гуляя в поле, обнаружим колонию муравьев, вряд ли нашим первым побуждением будет вступить с муравьями в контакт, обратиться к их лидеру, показать им заманчивые безделушки и предложить беспрецедентный уровень процветания и плоды нашего научно-технического прогресса. Скорее всего, мы проигнорируем их (или даже случайно раздавим нескольких муравьев).

Озадаченный этими вопросами, я спросил Дайсона, скоро ли, по его мнению, мы вступим в контакт с неземными формами жизни. Его ответ удивил меня: «Надеюсь, не скоро». Мне показалось странным то, что человек, который десятилетиями высказывал догадки о разумных цивилизациях космоса, сдержанно относится к возможности встретиться с их представителями. Но, если вспомнить британскую историю, станет ясно, что у Дайсона есть веские причины не спешить с приветствиями навстречу другим цивилизациям. Британская цивилизация на несколько веков опережала многие другие, например индийскую и африканскую, завоеванные британской армией и флотом.

Хотя большинство авторов научной фантастики сетуют на ограничения в области изучения космоса, налагаемые скоростью света, Дайсон демонстрирует неортодоксальность взглядов и заявляет, что это ограничение даже полезно. Напоминая о нередко кровопролитной истории колониальных завоеваний на нашей планете, он полагает, что это к лучшему, что цивилизации II типа отделены огромными расстояниями и планковская энергия недостижима. Указывая на преимущества этой ситуации, он усмехается: «По крайней мере можно улизнуть от сборщика налогов».

К сожалению, встреча двух неравных цивилизаций зачастую имеет катастрофические последствия для более слабой из них. К примеру, цивилизация ацтеков за тысячелетия заняла господствующее положение в Центральной Мексике. В некоторых отношениях развитие ее науки, искусства и техники соперничало с европейским. Но в производстве пороха и боевых кораблей ацтеки отстали от испанцев на несколько веков. В 1521 г. внезапное столкновение между небольшим потрепанным отрядом из 400 конкистадоров и развитой цивилизацией ацтеков закончилось трагедией. На протяжении краткого периода ацтеки, численность которых составляла миллионы, систематически истреблялись, их обращали в рабство и отправляли работать на рудники. Их сокровища разграбили, исторические реликвии уничтожили, а хлынувшие в страну миссионеры постарались стереть из их памяти остатки свидетельств великой цивилизации ацтеков. Размышляя о том, как мы могли бы отреагировать на появление гостей из космоса, можно с грустью вспомнить, как ацтеки воспринимали приехавших испанцев: «Они хватали золото, как обезьяны, у них разгорелись глаза. Несомненно, их жажда золота казалась ненасытной: они изголодались по нему, они вождели его и набрасывались на него, как голодные свиньи. Они были полностью поглощены им, хватали его пригоршнями и забирали себе, бессвязно бормоча что-то»^{*5}.

В масштабе космоса неожиданные взаимодействия цивилизаций могут оказаться еще более драматическими. Поскольку мы говорим об астрономической временной шкале, вполне

* Так что нам, пожалуй, не следует слишком оптимистично относиться к предстоящим контактам с разумными внеземными цивилизациями. Ученые отмечают, что на Земле есть два типа животных: хищники, такие как кошки, собаки и тигры (у которых глаза посажены спереди, близко один к другому, чтобы удобнее сосредотачивать внимание на добыче), и добыча этих хищников — кролики и олени (у которых глаза расположены по бокам головы, чтобы иметь большой обзор и вовремя замечать хищников). Как правило, у хищников интеллект выше, чем у жертв. Эксперименты показали, что кошки гораздо умнее мышей, а лисы умнее кроликов. Люди с их близко посаженными глазами — тоже хищники. В своих поисках разумной жизни на небесах мы должны помнить, что инопланетяне, с которыми мы встретимся, тоже, скорее всего, происходят от хищников. — *Прим. авт.*

вероятно, что цивилизация, опередившая нас на миллион лет, сочтет нас не заслуживающими внимания. Более того, скорее всего, наша маленькая планета мало что сможет предложить этим инопланетянам: все ее природные ресурсы наверняка доступны и в других многочисленных звездных системах.

В «Звездном пути» Федерация планет сталкивается с враждебными цивилизациями, такими как клингоны и ромуланцы, однако они находятся *точно* на такой же стадии технического развития, как и Федерация. Возможно, это добавляет напряженности и драматизма сериалу, но вероятность такого совпадения астрономически мала. Гораздо вероятнее, что мы, исследуя галактику на космических кораблях, обнаружим цивилизации, находящиеся на совершенно других уровнях технического развития и, скорее всего, опередившие нас на миллионы лет.

Расцвет и упадок цивилизаций

Вдобавок к предположениям, что мы могли разминуться с другими цивилизациями на миллионы лет и что прочие цивилизации не считают нас достойными внимания, есть и еще одна, более примечательная теория. Согласно ей тысячи разумных форм жизни возникали, но не смогли пережить ряд катастроф — как природных, так и техногенных. Если эта теория верна, тогда, возможно, когда-нибудь наши космические корабли обнаружат руины древних цивилизаций на далеких планетах или, что более вероятно, наша цивилизация сама станет жертвой подобных катастроф. Возможно, мы не превращаемся в «повелителей Вселенной», а движемся прямоком к самоликвидации. Таким образом, мы задаем себе вопросы: какова участь развитых цивилизаций? Способны ли они существовать достаточно долго, чтобы освоить физику десятого измерения?

Расцвет цивилизаций не ознаменован неуклонным и неизбежным развитием техники и знаний. История свидетельствует о том, что цивилизации возвышаются, достигают зре-

лости, а затем исчезают, порой бесследно. Возможно, в будущем человечество откроет ящик Пандоры, полный страшных технологий, угрожающих нашему существованию, — от атомных бомб до углекислого газа. Некоторые футурологи вместо того, чтобы трубить о наступлении эры Водолея, предсказывают, что нам предстоит технический и экологический коллапс. В будущем им видится пугающий образ человечества, низведенного до уровня жалкого, перепуганного Скруджа из романа Чарльза Диккенса, распростершегося над собственной могилой и умоляющего дать ему еще один шанс.

Увы, подавляющее большинство людей не подозревают о потенциальных опасностях, угрожающих нам, или не желают знать о них. Некоторые ученые утверждают, что человечество в целом можно сравнить с распоясавшимся подростком. По наблюдениям психологов, подростки ведут себя так, словно они неуязвимы. Их манера водить машину, употребление спиртного и наркотиков — наглядный пример бесшабашности, беспечности, преобладающей в их образе жизни и видении мира. Главная причина смертности подростков в нашей стране — теперь уже не болезни, а несчастные случаи, возможно, вызванные непоколебимой уверенностью подростков в том, что они будут жить вечно.

Так и мы злоупотребляем технологией и пренебрегаем экологией, словно собираемся жить вечно, и не задумываемся о катастрофах, которые предстоят нам в будущем. Возможно, общество в целом поражено «комплексом Питера Пэна», который никак не желал взрослеть и иметь дело с последствиями своей безответственности.

Для того чтобы конкретизировать наше обсуждение, используя имеющиеся у нас знания, мы можем определить несколько важных препятствий, которые предстоит преодолеть в течение ближайших нескольких миллионов лет, прежде чем мы станем повелителями десятого измерения. Эти препятствия — урановый барьер, экологический коллапс, новая ледниковая эпоха, астрономические сближения, Немезида и вымирание, гибель Солнца и галактики Млечный Путь.

Урановый барьер

Джонатан Шелл в своей эпохальной книге «Судьба Земли» (The Fate of the Earth) указывает, как опасно мы приблизились к всеобщему уничтожению. Хотя недавний распад Советского Союза способствовал масштабным сокращениям вооружений, в мире еще остается около 50 000 единиц ядерного оружия, как тактического, так и стратегического, вместе со смертоносными ракетами, способными доставить его точно к цели. Человечество вплотную приблизилось к возможности полного самоуничтожения.

Если первые же ракеты не уничтожат всех, нам предстоит мучительная смерть в условиях ядерной зимы, в отсутствие животворного солнечного света, путь которому преградят пепел и копоть горящих городов. Компьютерное моделирование показало: достаточно всего нескольких сотен мегатонн взрывчатого вещества, чтобы вызвать в крупных городах огненную бурю и в итоге — значительное задымление атмосферы. При резком снижении температур урожай погибнет, города замерзнут, остатки цивилизации угаснут, как пламя свечи.

И наконец, нарастает угроза распространения ядерного оружия. По оценкам разведслужб США, в Индии, взорвавшей свою первую бомбу в 1974 г., в настоящее время имеется около 20 атомных бомб. Те же источники утверждают, что заклятый враг Индии Пакистан располагает четырьмя атомными бомбами, в том числе одной весом не более 400 фунтов (182 кг), находящимися в Лаборатории ядерных исследований в Кахуте. Один сотрудник центра ядерных исследований в Димоне, в израильской пустыне Негев, утверждал, что видел там материалы в количестве, достаточном для изготовления 200 атомных бомб. ЮАР признает наличие у нее семи атомных бомб, в конце 1970-х гг. она провела испытание двух атомных бомб у своего побережья*. Спутник наблюдения США Vela зафиксиро-

* В 1993 г. ЮАР добровольно отказалась от ядерного оружия и уничтожила все имеющиеся запасы. — *Прим. науч. ред.*

ровал «след» атомной бомбы — характерную двойную вспышку, в двух случаях возникшую у берегов Южной Африки в присутствии израильских военных кораблей. Такие государства, как Северная Корея, Южная Корея и Тайвань, уже вплотную приблизились к обладанию ядерным оружием. С учетом недавно рассекреченных сведений разведки США есть основания считать, что в 2000 г. бомбами располагали 20 государств. Распространение ядерного оружия достигнет самых горячих точек мира, в том числе Ближнего Востока.

Создавшаяся ситуация чрезвычайно нестабильна, и в дальнейшем нестабильность будет только нарастать — по мере того как страны начнут соперничать в борьбе за сокращающиеся ресурсы и сферы влияния. Не только наша, но и каждая разумная цивилизация галактики, построившая индустриальное общество, неизбежно откроет 92-й элемент, уран, и его способность к массовому уничтожению. Элемент 92 обладает примечательной способностью к поддержанию цепной реакции и высвобождению огромных запасов энергии, хранящихся в его ядре. Вместе с умением управлять энергией 92-го элемента приходит и возможность либо избавить наш вид от нужды, невежества и голода, либо обречь планету на гибель в результате ядерного удара. Однако мощь 92-го элемента можно выпустить на свободу лишь в том случае, когда разумные виды достигнут определенного этапа в развитии и создадут цивилизацию нулевого типа. Многое зависит от размера сплоченных социальных единиц и уровня индустриального развития.

К примеру, огнем могут пользоваться обособленные группы разумных людей (такие как племена). Плавление руды и примитивная металлургия, необходимая для изготовления оружия, требует более крупной социальной организации, возможно, насчитывающей тысячи человек (такой как небольшое поселение). Для разработки двигателя внутреннего сгорания, например автомобильного, нужна развитая химическая и промышленная база, а этого можно добиться только при численности сплоченного сообщества из миллионов человек (такого как национальное государство).

Открытие 92-го элемента нарушает баланс между медленным и неуклонным ростом сплоченной социальной единицы и техническим развитием. Ядерная энергия в миллион раз превосходит энергию химических взрывчатых веществ, однако то же самое национальное государство, способное освоить двигатель внутреннего сгорания, может также очищать и обогащать 92-й элемент. Так возникает явное несоответствие, особенно когда эта гипотетическая цивилизация продолжает развиваться как совокупность враждебных национальных государств. Технологии, предназначенные для кровопролитных сражений и уничтожения, быстро опережают общественные отношения, после открытия 92-го элемента.

Напрашивается вывод: цивилизации нулевого типа много раз возникали на протяжении 5–10 млрд лет истории нашей галактики, но все они рано или поздно открывали 92-й элемент. Если научно-технический потенциал цивилизации опережал ее социальное развитие, тогда с возвышением враждующих государств возникала вероятность уничтожения цивилизации в ходе атомной войны⁶. Как это ни прискорбно, но если мы доживем до освоения ближайших звезд в нашем секторе галактики, то вполне можем увидеть прах бесчисленных мертвых цивилизаций, пытавшихся разрешить межгосударственные споры, личные конфликты и проблемы расовой ненависти с помощью ядерных бомб.

Как сказал Хайнц Пейджелс:

Нашей цивилизации брошен вызов. Он исходит из наших представлений о космической энергии, питающей звезды, о движении света и электронов сквозь материю, о замысловатом молекулярном порядке как биологической основе жизни. Ответить на него следует созданием нравственного и политического порядка, который приспособит эти силы, иначе мы погибнем. Это испытание для наших глубинных ресурсов разума и сострадания⁷.

Следовательно, есть вероятность, что в нашей галактике не раз возникали развитые цивилизации, но лишь некоторые

преодолели урановый барьер, особенно если их техническое развитие опережало социальное.

Если построить, к примеру, график развития радиотехники, мы увидим, что эволюция нашей планеты продолжалась 5 млрд лет, прежде чем живущий на ней разумный вид понял, как надо управлять силами электромагнитного и ядерного взаимодействия. Но если мы уничтожим сами себя в ходе ядерной войны, тогда кривая на графике после крутого пика вернется к нулю. Таким образом, чтобы установить контакт с развитой цивилизацией, необходимо обращать внимание на эпоху с точностью до нескольких десятилетий, чтобы успеть, пока цивилизация не уничтожила себя. «Окно» для установления контакта с другой существующей цивилизацией до того, как она погибнет, исчезающе мало. На рис 13.1 расцвет инопланетных цивилизаций по всей галактике представлен как ряд пиков, каждый обозначает быстрый расцвет цивилизации и еще более быстрый упадок из-за ядерной войны. Поэтому поиски разумной жизни в небе могут оказаться трудной задачей. За последние несколько миллиардов лет таких пиков могли насчитываться тысячи, тысячи планет краткое время пользовались радиотехнологиями, а потом были взорваны. К сожалению, каждый пик возникает лишь на краткий период в своем космическом времени.

Экологический коллапс

Если цивилизации нулевого типа удастся подчинить себе уран и при этом не погибнуть в ядерной войне, следующим возможным препятствием на ее пути может стать экологический коллапс.

Вспомним недавний пример с единственной бактерией, которая делится так часто, что в конце концов масса скопления бактерий превосходит массу планеты Земля. Но в действительности мы не встречаем на Земле гигантских скоплений бактерий, мало того, колонии бактерий не достигают даже размеров монетки. В лаборатории бактерии, помещенные

в питательную среду, действительно демонстрируют экспоненциальный рост, но в конце концов погибают, так как производят слишком много отходов и истощают запасы пищи. Колонии бактерий рано или поздно захлебываются отходами своей жизнедеятельности.

Подобно колониям бактерий, мы тоже истощаем свои ресурсы и тонем в отходах, которые неустанно производим. Наши океаны и атмосфера — всего-навсего свертонка пленка на поверхности Земли. Численность населения цивилизации нулевого типа перед тем, как она станет цивилизацией I типа, может резко вырасти и достигнуть нескольких миллиардов, в итоге ресурсы будут расходоваться гораздо быстрее, проблема загрязнения усугубится. Наиболее вероятна угроза загрязнения атмосферы углекислым газом, который не пропускает солнечный свет и повышает среднюю температуру на планете, провоцируя неуправляемый парниковый эффект.

С 1958 г. концентрация углекислого газа в воздухе увеличилась на 25%, главным образом за счет сгорания нефти и угля (45% углекислого газа попадает в атмосферу с территории США и бывшего Советского Союза). Это, в свою очередь, ускоряет повышение средней температуры на Земле. Понадобилось почти столетие (с 1880 г.), чтобы средняя температура на планете повысилась на 1 °F (0,56 °C). Однако теперь средняя температура растет со скоростью почти 0,6 °F (0,33 °C) за десятилетие. К 2050 г. ее рост вызовет повышение уровня береговых вод на 1–4 фута (0,3–1,2 м), вызовет заболоченность территории таких стран, как Бангладеш, и затопление Лос-Анджелеса и Манхэттена. Еще больше тревоги будет вызывать опустошение стандартной продуктовой корзины на Среднем Западе, ускоренное распространение пустынь, вырубка влажных тропических лесов, которые, в свою очередь, усилят парниковый эффект. Распространение голода и экономического кризиса примет глобальные масштабы.

Вся беда в несогласованной политике в масштабах планеты. Миллионы предприятий повсюду на Земле отравляют окружающую среду, и предотвратить это безудержное загрязнение

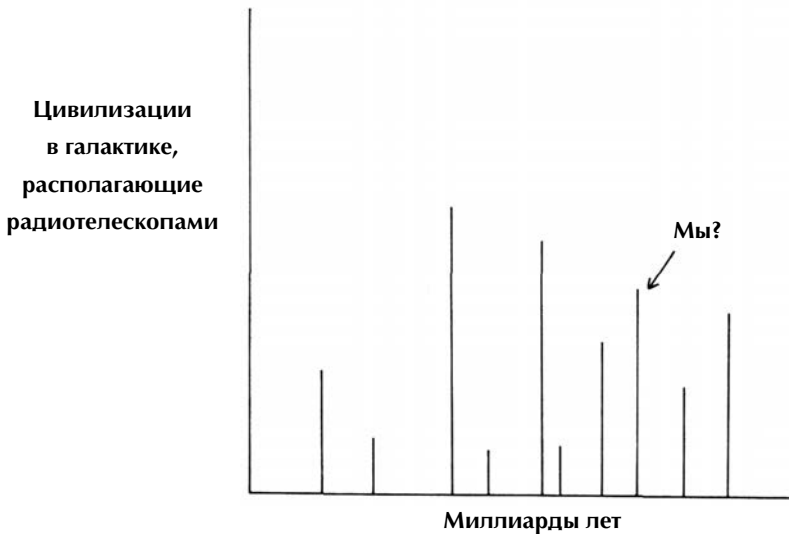


Рис. 13.1. Почему мы не встречаем в галактике представителей других разумных видов? Возможно, разумные формы жизни, способные сконструировать радиотелескоп, процветали миллионы лет назад, а потом погибли в ядерной войне. Возможно, когда-то наша галактика буквально кишела разумной жизнью, которая теперь почти полностью вымерла. Будет ли другой судьба нашей цивилизации?

способна лишь единая планетарная политика, которую трудно, если вообще возможно осуществить, когда преобладающая форма социальной организации — национальное государство с численностью населения сотни миллионов человек. В краткосрочной перспективе могут понадобиться экстренные политические меры, в том числе резкое сокращение количества двигателей внутреннего сгорания и сжигаемого угля и нефти. Уровень жизни может упасть. При этом возникнут дополнительные трудности у развивающихся стран, которым нужен доступ к дешевым источникам энергии. А в долгосрочной перспективе наше общество будет вынуждено обратиться к одному из трех возможных решений, не связанных с выбросами углекислого газа и практически неисчерпаемых: к солнечной энергии, термоядерной энергии или реакторам-бридерам. Из них наиболее перспективны направления, связанные

с солнечной и термоядерной энергетикой. До использования силы термоядерного синтеза (в котором сливаются атомы водорода из морской воды) и солнечной энергии нам остается еще несколько десятилетий, но в последующие несколько веков они с избытком обеспечат нас энергией, пока общество совершает переход к цивилизации I типа.

И вновь проблема заключается в том, что техническое развитие опережает социальное. До тех пор пока окружающую среду загрязняют отдельные национальные государства, а для исправления ситуации требуются действия в масштабах всей планеты, несогласованность между ними может привести к катастрофе. Урановый барьер и экологический коллапс останутся бедствиями, угрожающими жизни цивилизации нулевого типа, пока усилия не будут объединены.

Но, когда цивилизация минует стадию нулевого типа, у нее появятся основания для оптимизма. Достижение статуса цивилизации I типа требует значительного уровня развития социального сотрудничества в масштабах планеты. Для использования ресурсов урана, двигателей внутреннего сгорания и химикатов необходимо объединение десятков-сотен миллионов человек. А для истинного овладения ресурсами планеты понадобится объединить миллиарды человек. Таким образом, социальное устройство цивилизации I типа должно быть очень сложным и развитым, в противном случае создать необходимые технологии не удастся.

По определению, цивилизация I типа требует сплоченного сообщества, представляющего собой все население планеты. Цивилизация I типа по своей природе должна быть планетарной. Функционировать в малых масштабах она не в состоянии.

В некотором смысле этот процесс можно сравнить с развитием ребенка. Критический период для малыша — первые несколько месяцев жизни, когда переход во внешнее, потенциально опасное окружение становится колоссальной биологической нагрузкой. Но по прошествии первого года жизни показатель смертности детей резко снижается. Так и для цивилизации наиболее опасны первые несколько веков после того,

как она научится управлять силой ядерного взаимодействия. А как только цивилизация достигнет уровня планетарной политической системы, может оказаться, что самое страшное уже позади.

Новый ледниковый период

Никто не знает, чем был вызван ледниковый период, предполагаемая продолжительность которого измеряется десятками или сотнями тысячелетий. Согласно одной теории к нему привели незначительные изменения в скорости вращения Земли, слишком мелкие и потому остающиеся незаметными, даже если они продолжались столетиями. Накапливаясь сотнями тысячелетий, это несущественное воздействие вызывало небольшие изменения в циркуляции воздуха над полюсами. В конце концов циркуляция воздуха изменилась, направляя ледяные воздушные массы дальше и дальше на юг, в итоге температура на планете резко снизилась, и начался ледниковый период. Он нанес огромный урон экологии Земли, вызвал вымирание десятков видов млекопитающих, возможно, даже изолировал на материках отдельные группы людей, а может, и породил различные расы — сравнительно недавний феномен.

К сожалению, наши компьютеры слишком примитивны даже для предсказания погоды на завтра, не то, что для прогнозирования очередного ледникового периода. Сейчас только начинают появляться компьютеры пятого поколения. Порой мы забываем о том, что, какими бы большими и сложными ни были компьютеры четвертого поколения, они способны складывать только два числа за раз. Это серьезная проблема, ее только начинают решать в компьютерах пятого поколения, параллельные процессоры которых могут выполнять несколько операций одновременно.

Вполне вероятно, что наша цивилизация достигнет уровня I типа (если успешно преодолет урановый барьер и экологический коллапс), а также способности управлять погодой уже через несколько столетий. Если цивилизация человечества

приблизится к статусу I типа или выше до начала следующего ледникового периода, есть все основания полагать, что ледниковый период не уничтожит человечество. Люди либо изменят климат, либо заранее предскажут ледниковый период и покинут Землю.

Астрономические сближения

Во временном масштабе от нескольких тысяч до нескольких миллионов лет цивилизациям нулевого и первого типов приходится помнить о столкновениях с астероидами и о ближайших сверхновых.

Только в нынешнем веке благодаря усовершенствованным астрономическим измерениям стало очевидно, что орбита Земли пересекается с орбитами множества астероидов, в результате чего вероятность сближений опасно велика. (Единственный способ предотвратить прямое столкновение, доступный цивилизации нулевого или первого типов, — запустить ракеты с водородными бомбами, чтобы настичь астероид и перенаправить его, пока он находится на расстоянии десятков миллионов миль от Земли. Этот метод был предложен международными научными организациями.)

Опасные сближения наблюдаются чаще, чем полагает большинство людей. Последний такой случай произошел 3 января 1993 г., во время него астрономы провели съемку с помощью радара НАСА. Благодаря снимкам выяснилось, что у астероида Таутатис два ядра из твердых пород, диаметром 2 мили (3,2 км) каждое. Он пролетел на расстоянии 2,2 млн миль (3,5 млн км) от Земли. 23 марта 1989 г. астероид размером примерно полмили (0,8 км) в поперечнике оказался еще ближе к Земле, на расстоянии порядка 0,7 млн миль (1,12 млн км), что примерно в три раза превышает расстояние от Земли до Луны.

В конце 1992 г. стало известно также, что 14 августа 2126 г. гигантская комета может врезаться в Землю и уничтожить все живое на планете. По оценкам астронома Брайана Марседена из Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики, вероят-

ность прямого столкновения составляет одну десятитысячную. Комету Свифта–Таттла, названную в честь двух американских астрономов, впервые заметивших ее во времена Гражданской войны в США, в прессе скоро переименовали в «глыбу Судного дня». «Потенциально безработные» ядерные физики утверждали — возможно, исходя из своих интересов, — что давно пора разрешить им создавать массивные водородные бомбы, способные вдребезги разнести комету, как только она приблизится.

Осколкам и обломкам кометы Свифта–Таттла уже случилось падать на Землю. Делая полный оборот вокруг Солнца каждые 130 лет, она оставляет на своем пути массу фрагментов, создает настоящий поток метеоров и частиц в космосе. Когда Земля пересекает эту реку, мы видим ежегодный метеорный поток Персеиды, неизменно озаряющий небо нерукотворными фейерверками. (Стоит заметить, что предсказывать опасные сближения рискованно. Поскольку от солнечного излучения испарение с покрытой льдом поверхности кометы происходит неравномерно, напоминая тысячи взрывов маленьких петард, комета совершает небольшие, но значимые отклонения от своей траектории. Неудивительно, что уже через несколько недель Марсден отказался от своих прогнозов по причине их некорректности. «Нам ничего не угрожает по меньшей мере еще тысячелетие», — заявил он.)

Комиссия НАСА в январе 1991 г. пришла к выводу, что примерно 1000–4000 астероидов, пересекающих орбиту Земли и имеющих в поперечнике размер более полумили (0,8 км), представляют достаточно серьезную угрозу для цивилизации человека. Однако лишь за 150 крупными астероидами удастся следить с помощью радаров. Более того, через орбиту Земли пролетает около 300 000 астероидов, имеющих в поперечнике как минимум 300 футов (90 м). К сожалению, орбиты этих малых астероидов ученым не известны.

Мое собственное знакомство с внеземным объектом произошло, когда я заканчивал учебу в Гарварде зимой 1967 г.

Один из моих соседей по общежитию, работавший на полставки в университетской обсерватории, открыл мне тайну: астрономы обнаружили гигантский астероид размером несколько миль в поперечнике, направляющийся прямо к Земле. Более того, тот же сосед сообщил мне, что делать окончательные выводы еще слишком рано, но согласно компьютерным вычислениям этот астероид столкнется с Землей в июле 1968 г., как раз к нашему выпускному. Объект таких размеров неизбежно пробьет земную кору, на поверхность выплеснутся миллиарды тон расплавленной магмы, по всей планете пройдут чудовищные землетрясения и цунами. После этого я еще несколько месяцев периодически спрашивался о том, что слышно о роковом астероиде. Видимо, астрономы из обсерватории не разглашали информацию, чтобы не вызвать нежелательную панику.

Прошло двадцать лет, я совсем забыл о том астероиде и вспомнил лишь тогда, когда читал статью об опасных сближениях с одним астероидом. Несомненно, в ней имелся в виду астероид 1968 г. Непосредственно столкнуться с Землей ему помешало только разделяющее их расстояние — примерно 1 млн миль (1,6 млн км).

Гораздо реже, чем столкновения с астероидами, случаются еще более эффектные события — взрывы сверхновых вблизи Земли. Сверхновая выбрасывает больше энергии, чем сотни миллиардов звезд, пока наконец не затмевает всю галактику. От нее исходят всплески рентгеновского излучения, которых достаточно, чтобы вызвать серьезные возмущения в любой соседней звездной системе. Как минимум сверхновая по соседству создаст колоссальный электромагнитный импульс (ЭМИ), подобный возникающему при взрыве водородной бомбы в космосе. Всплеск рентгеновского излучения в конце концов достигнет нашей атмосферы, выбивая электроны из атомов, электроны по спирали устремятся через магнитное поле Земли и создадут огромные электрические поля. Мощности этих полей хватит, чтобы отключить все электрические и коммуникационные устройства на расстоянии сотен

миль и вызвать неразбериху и панику. В ходе широкомасштабной ядерной войны такого ЭМИ было бы достаточно, чтобы полностью или на время вывести из строя любые электронные устройства на огромной населенной территории. В худшем случае взрыв сверхновой вблизи Солнечной системы уничтожит все живое в ней.

Астроном Карл Саган полагает, что динозавры вымерли в результате подобного события:

Если примерно 65 млн лет назад на расстоянии 10–20 световых лет от Солнечной системы появилась сверхновая, она могла выбросить мощный поток излучения в космос, и часть этого излучения, войдя в атмосферу Земли, могла выжечь в ней азот. Возникшие при этом оксиды азота уничтожили бы защитный озоновый слой, усилили приток солнечного ультрафиолетового излучения к поверхности, и это привело бы к гибели или мутациям многих организмов, не имеющих достаточной защиты от сильного ультрафиолетового излучения.

Увы, сверхновые взрываются без предупреждения. Взрыв сверхновой происходит чрезвычайно быстро, ее излучение распространяется со скоростью света, поэтому представителям цивилизации I типа остается лишь поспешно удирать в космос. Предвидеть такое развитие событий можно только при условии тщательного контроля над ближайшими звездами, готовыми превратиться в сверхновые.

Немезида как фактор вымирания

В 1980 г. покойный Луис Альварес, его сын Уолтер, Фрэнк Асаро и Хэлен Мичел из Калифорнийского университета в Беркли предположили, что некая комета (или астероид) столкнулась с Землей 65 млн лет назад, вызвав обширные атмосферные возмущения, которые привели к внезапному вымиранию динозавров. Изучив напластования горных пород, отложившиеся в руслах рек 65 млн лет назад, ученые

обнаружили необычно высокое содержание иридия, который редко находят на Земле, но постоянно — в таких внеземных объектах, как метеориты. Гипотеза выглядела убедительно, поскольку комета диаметром 5 миль (8 км) столкнулась бы с Землей на скорости примерно 20 миль в секунду (32 км/с, что в десять раз превышает скорость пули) с силой 100 млн мегатонн ТНТ (или в 10 000 раз превосходящей мощность мирового ядерного арсенала). Такой объект оставил бы кратер диаметром 60 миль (96 км) и глубиной 20 миль (32 км), его обломки заслоняли бы Солнце на протяжении длительного времени. Это привело бы к резкому снижению температуры, и подавляющее большинство видов на планете было бы уничтожено полностью или частично.

В 1992 г. стало известно, что кандидат на роль убийцы динозавров уже найден. К тому времени в Мексике, на Юкатане, вблизи деревни Чикшулуб, был найден образовавшийся при ударе кратер диаметром 110 миль (176 км). В 1981 г. геофизики из мексиканской национальной нефтяной компании Pemex сообщили геологам, что обнаружили вблизи кратера гравитационные и магнитные аномалии круговой формы. Но лишь после того, как теория Альвареса приобрела популярность, геологи приступили к тщательному анализу следов катаклизма. Методы радиологического датирования с применением аргона-39 показали, что возраст юкатанского кратера — $64,98 \pm 0,05$ млн лет. Особенно впечатляло то, что на территории Мексики, Гаити и даже Флориды повсюду попадались мелкие, напоминающие стекло обломки — *тектиты*, вероятно, силикаты, оплавленные при падении огромного астероида или кометы. Стекловидные тектиты находят в осадочных породах, залегающих между отложениями третичного и мелового периодов. Анализ пяти различных образцов тектитов показывает средний возраст $65,07 \pm 0,10$ млн лет. Благодаря точности независимых измерений у геологов появился «виновник» гибели динозавров.

Одна из удивительных особенностей развития жизни на Земле заключается в том, что гибель динозавров была

лишь одним из нескольких зафиксированных случаев массового вымирания. Другие подобные случаи оказались еще масштабнее того, которым завершился меловой период 65 млн лет назад. К примеру, массовое вымирание в конце пермского периода уничтожило 96% всех видов растений и животных 250 млн лет назад. Трилобиты, господствующая форма жизни в земных океанах, таинственным и внезапным образом исчезли во время этого массового вымирания. Таких случаев массового вымирания флоры и фауны насчитывается пять. Если прибавить к ним менее известные случаи, тенденция просматривается отчетливо: массовое вымирание происходит каждые 26 млн лет. Палеонтологи Дэвид Рауп и Джон Сепкоски показали, что если мы представим графически численность известных видов Земли в конкретное выбранное время, то получим график, на котором резкое снижение количества форм жизни наблюдается каждые 26 млн лет, как по часам. Возвращаясь на десять циклов назад, мы окажемся в прошлом давностью 260 млн лет (за исключением двух циклов).

Во время одного цикла вымирания, в конце мелового периода и 65 млн лет назад, погибли почти все динозавры. В другом, в конце эоценового периода и 35 млн лет назад, с лица земли исчезли многие виды сухопутных млекопитающих. Но главный интерес представляет следующая загадка: что именно может иметь циклы продолжительностью 26 млн лет? Поиски цикла длиной 26 млн лет в биологических, геологических и даже астрономических данных ничего не дали.

Ричард Мюллер из Беркли предположил, что наше Солнце на самом деле является частью системы двойной звезды и что сестра нашего Солнца, названная Немезидой или Звездой смерти, вызывает периодическое вымирание живых существ на Земле. Была высказана догадка, что у нашего Солнца есть массивный незримый партнер, который обходит его орбиту каждые 26 млн лет. Проходя через облако Оорта (облако, состоящее из комет, предположительно существующее за орбитой Плутона), эта звезда порождает целую лавину комет, и неко-

торые из них падают на Землю, затмевая обломками и пылью солнечный свет.

Экспериментальным подтверждением этой оригинальной теории служит тот факт, что геологические пласты давнего прошлого, относящиеся к концу каждого цикла вымирания, содержат необычно большое количество иридия. Поскольку иридий обычно находят во внеземных метеоритах, вполне возможно, что эти следы иридия — обломки комет, падение которых вызвано Немезидой. В настоящее время мы находимся на пути между циклами вымирания, и это означает, что Немезида, если она существует, находится в самой удаленной точке своей орбиты (вероятно, на расстоянии нескольких световых лет). Значит, до следующего ее приближения остается еще более 10 млн лет*.

К счастью, к тому моменту, как кометы из облака Оорта снова ворвутся в Солнечную систему, мы достигнем состояния цивилизации III типа, а значит, не только завоюем ближайшие звезды, но и начнем путешествовать сквозь пространство-время.

Смерть Солнца

Порой ученые задаются вопросом: что в конце концов происходит с атомами нашего тела после смерти? Вполне возможно, что наши молекулы со временем возвращаются к Солнцу.

Наше Солнце — звезда среднего возраста. Ей примерно 5 млрд лет, она, вероятно, останется желтой еще 5 млрд лет. Когда же Солнце исчерпает запасы водородного топлива, то начнет сжигать гелий и быстро увеличится в размерах, станет красным гигантом. Его наружная оболочка стремитель-

* Еще одна теория, которая могла бы объяснить периодические вымирания, связана с особенностями орбиты, по которой наша Солнечная система движется вокруг галактики Млечный Путь. В действительности Солнечная система поднимается над плоскостью галактики и опускается ниже этой плоскости — точно так же, как лошадки на карусели перемещаются не только по кругу, но и вверх-вниз. Периодически опускаясь ниже плоскости галактики, Солнечная система может сталкиваться с огромным количеством космической пыли, вызывающей возмущение в облаке Оорта и порождающей потоки комет. — *Прим. авт.*

но разрастется и достигнет орбиты Марса, орбита Земли окажется полностью в атмосфере Солнца, и Земля сгорит от его гигантских температур. Молекулы, составлявшие наши тела и саму Землю, поглотит Солнце.

Саган рисует следующую картину:

Через миллиарды лет наступит последний прекрасный день в жизни Земли... Арктическая и антарктическая полярные шапки растают, прибрежные земли повсюду в мире будут затоплены. Высокая температура океанов вызовет интенсивное испарение воды и повысит облачность, которая защитит Землю от солнечного света и тем самым слегка отдалит финал. Но эволюция Солнца неизбежна. В конце концов океаны закипят, атмосфера улетучится в космос, и нашу планету постигнет катастрофа самых колоссальных масштабов, какие только можно вообразить⁸.

Таким образом, тем, кто желает знать, что уничтожит Землю — лед или пламя, — физика дает однозначный ответ: огонь. Но если человечество доживет до этого момента, то, скорее всего, к его наступлению давно покинет Солнечную систему. В отличие от сверхновой наше Солнце не скупится на предостережения об опасности.

Смерть галактики

Если говорить о временных масштабах порядка нескольких миллиардов лет, то надо понимать, что галактика Млечный Путь, в которой живем, погибнет. Точнее, мы живем на спиральной ветви (рукаве Млечного Пути) Ориона. Когда по ночам мы смотрим в небо и чувствуем себя карликами при виде бесчисленного множества небесных светил, на самом деле мы видим лишь малую часть звезд на рукаве Ориона. Миллионы звезд, вдохновлявшие поколения влюбленных и поэтов, составляют лишь малую толику этого рукава. Остальные 200 млрд звезд Млечного Пути так далеки, что их

едва можно разглядеть как размытую ленту, пересекающую ночное небо.

На расстоянии примерно 2 млрд световых лет от Млечного Пути находится наша ближайшая соседка — огромная галактика (или туманность) Андромеды, в два-три раза превосходящая размерами нашу галактику. Эти две галактики сближаются со скоростью 125 км/с и столкнутся через 5–10 млрд лет. Как выразился астроном Ларс Эрнквист из Калифорнийского университета в Санта-Крус, это столкновение станет «аналогом принудительного поглощения одной компанией другой. Наша галактика будет поглощена и уничтожена»⁹.

Если наблюдать за происходящим из космоса, можно увидеть, как Андромеда сначала столкнется с Млечным Путем, а потом медленно вберет его в себя. Компьютерное моделирование столкновения галактик показывает, что гравитационное притяжение большей из них постепенно пересилит гравитацию меньшей, и после нескольких оборотов меньшая галактика окажется «съеденной». Но, поскольку звезды в галактике Млечный Путь разделены обширным космическим пространством, звезды будут сталкиваться сравнительно редко — может быть, несколько раз за столетие. Так что наше Солнце сможет довольно долго избегать столкновений.

В конечном итоге на временном отрезке длительностью миллиарды лет нас ждет гораздо более страшная участь — смерть самой Вселенной. Наиболее разумные формы жизни могут найти способы строительства космических ковчегов и избежать большинства природных катастроф, но как избежать гибели Вселенной, когда сам космос станет нашим злейшим врагом?

Ацтеки верили, что конец света наступит, когда солнце однажды упадет с неба. Они предсказывали, что это произойдет, «когда земля устанет... когда у земли закончится семя». В результате падения солнца звезды тоже свалятся с небес.

Возможно, ацтеки были близки к истине.

Остается лишь надеяться на то, что к тому времени, когда наше Солнце начнет гаснуть, человечество давным-давно поки-

нет Солнечную систему и устремится к звездам. (В цикле «Основание» Азимова местонахождение нашей изначальной звездной системы уже несколько тысячелетий как забыто.) Но, так или иначе, *все* звезды на небесах неизбежно погаснут, когда иссякнет их ядерное топливо. Через десятки или сотни миллиардов лет нас ждет смерть самой Вселенной. Вселенная либо откроется и будет расширяться, пока температуры не достигнут абсолютного нуля, либо закроется, и в этом случае будет происходить процесс обратный расширению — Вселенная погибнет в неистовом Большом сжатии. Такой сценарий представляет серьезную угрозу даже для существования цивилизаций III типа. Спасет ли умение управлять гиперпространством эти цивилизации от последней катастрофы — гибели Вселенной?

Судьба Вселенной

Твердят, мол, сгинет мир в огне
Или во льду.
По опыту, пожалуй, мне
Приятней погибать в огне*.

Роберт Фрост

Игра не закончена, пока она не закончилась.

Йоги Берра

Как мы уже видели, способность цивилизации на Земле или в космосе достичь уровня такого технического развития, чтобы можно было управлять силой гиперпространства, отчасти зависит от того, как цивилизация нулевого типа переживет типичные для нее катастрофы. Опасный период — первые несколько столетий после начала ядерной эпохи, когда техническое развитие цивилизации значительно опережает ее политическую и социальную зрелость, умение улаживать региональные конфликты.

К тому времени, как цивилизация достигнет уровня III типа, у нее появится достаточно развитая планетарная социальная структура, позволяющая избежать самоуничтожения, а также технологии настолько эффективные, чтобы избежать экологических и природных катастроф, таких как ледниковый период или схлопывание Солнца. Но даже цивилизации III типа нелегко избежать последней катастрофы — гибели самой Вселенной.

* Пер. С. Степанова. — *Прим. пер.*

Даже самые мощные и технически совершенные космические корабли цивилизации III типа не спасут ее от финальной участи Вселенной.

О том, что когда-нибудь сама Вселенная погибнет, было известно ученым еще в XIX в. Чарльз Дарвин в «Автобиографии» писал о том, как страдал, осознав этот неоспоримый, но нагоняющий тоску факт: «Если, подобно мне, верить, что в отдаленном будущем человек станет более совершенным, чем сейчас, невыносимо думать, что он и все разумные существа обречены на полное исчезновение после столь длительного медленного прогресса»¹.

Математик и философ Бертран Рассел писал, что предстоящее полное вымирание человечества — причина «непреодоляемого отчаяния». В отрывке, который, вероятно, повергает в уныние так, как ни один другой текст, написанный ученым, Рассел отмечал:

То, что человек есть продукт факторов, не предполагающих конечной цели движения; то, что его истоки, его развитие, его надежды и опасения, его пристрастия и убеждения не что иное, как результат случайного расположения атомов; то, что ни огонь, ни героизм, ни сила мысли или чувства не в состоянии сохранить жизнь в загробном мире; то, что все вековые труды, вся преданность, все вдохновение, все полуденное сияние человеческого гения обречены на вымирание вместе с гибнущей Солнечной системой и весь храм достижений Человека неизбежно будет погребен под обломками рухнувшей Вселенной, — все это хоть и не вполне бесспорно, однако настолько предопределено, что никакая философия, отвергающая перечисленное, не имеет надежды устоять. Только опираясь на эти истины, только на прочном фундаменте непреодоляемого отчаяния можно возвести обитель души².

Рассел писал эти строки в 1923 г., за несколько десятилетий до начала космических полетов. Смерть Солнечной системы владела его помыслами как категоричный вывод из законов

физики. В условиях ограниченности техники и технологии того времени это депрессивное заключение казалось неизбежным. С тех пор мы достаточно узнали об эволюции звезд, чтобы понять: наше Солнце в конце концов станет красным гигантом, и Землю поглотит ядерный пожар. Вместе с тем мы разобрались в азах космических путешествий. Во времена Рассела сама мысль о больших кораблях, способных доставить человека на Луну или далекие планеты, казалась безумием. Но благодаря экспоненциальному развитию техники и технологии перспектива гибели Солнечной системы, как мы уже видели, перестала внушать человечеству ужас. К тому времени, как наше Солнце превратится в красный гигант, человечество будет или погребено под прахом ядерной войны, или найдет себе пристанище среди звезд.

Тем не менее нетрудно распространить «непреходящее отчаяние» Рассела не только на гибель нашей Солнечной системы, но и на смерть всей Вселенной. В последнем случае никакой космический ковчег не спасет человечество. Вывод кажется неопровержимым: физики предсказывают, что все разумные формы жизни, какими бы развитыми они ни были, неминуемо погибнут вместе с Вселенной.

Согласно общей теории относительности Эйнштейна Вселенная будет либо продолжать расширяться вечно в направлении «космического всхлипа*», и в этом случае температура во Вселенной достигнет почти абсолютного нуля, либо сократится в ходе коллапса, Большого сжатия. Вселенная погибнет или «во льду», раскрывшись, или «в огне», схлопнувшись. В любом случае цивилизация III типа обречена, потому что температуры окажутся близкими либо к абсолютному нулю, либо к бесконечности.

Для того чтобы выяснить, какая участь нас ждет, космологи с помощью уравнений Эйнштейна занялись вычислением общего количества материи-энергии во Вселенной. Так как материя в формуле Эйнштейна определяет степень

* В дискуссии о конце света нередко обыгрываются строки Томаса Элиота из цикла «Полюе люди»: «Так погибнет мир/Не взрыв, а всхлип». — *Прим. ред.*

искривления пространства-времени, нам необходимо знать среднюю плотность материи во Вселенной, чтобы определить, достаточно ли материи и энергии для того, чтобы гравитация дала обратный ход космическому расширению после изначального Большого взрыва.

Критический показатель средней плотности материи определяет окончательную участь Вселенной и всей разумной жизни в ней. Если средняя плотность Вселенной менее 10^{-29} г/см³, что соответствует 10 мг вещества, распространенным в объеме, равном объему Земли, тогда Вселенная будет продолжать расширяться вечно, пока не станет однообразно холодным, безжизненным пространством. Если же средняя плотность превышает эту величину, тогда материи достаточно для того, чтобы сила гравитации во Вселенной придала обратное направление Большому взрыву и Вселенная пала жертвой невообразимо высоких температур Большого сжатия.

В настоящее время ситуация с экспериментами сложная. Астрономам известно несколько способов определения массы галактики, а затем и массы Вселенной. Первый из них — подсчет звезд в галактике и умножение полученного числа на среднюю массу каждой звезды. Вычисления, проведенные таким трудоемким способом, показывают, что средняя плотность меньше критической величины и что Вселенная будет расширяться вечно. Проблема этих вычислений заключается в том, что в них не учитывается материя, которая не светится (например, пылевые облака, черные дыры, холодные звезды-карлики).

Есть и второй способ выполнения вычислений, на этот раз с применением законов Ньютона. Вычисляя время, которое требуется звездам для перемещения по галактике, астрономы используют законы Ньютона для определения общей массы галактики. Точно так же сам Ньютон определил массу Луны и Земли через время, которое требуется Луне для прохождения по орбите вокруг Земли.

Проблему представляет несоответствие этих способов вычислений. Астрономам известно, что до 90% массы галак-

тики имеет форму скрытой, невыявляемой «недостающей массы», или «темного вещества», которое не светится, но имеет вес. Даже если включить в расчеты приблизительную величину для несветящегося межзвездного газа, законы Ньютона предполагают, что галактика намного тяжелее, чем представляется согласно вычислениям по количеству звезд.

Пока астрономы не решат проблему «недостающей массы» или «темного вещества», мы не в состоянии ответить на вопрос, будет ли Вселенная сокращаться, превратится в пылающий шар и схлопнется или же она будет расширяться вечно.

Энтропийная смерть

Предположим на минуту, что средняя плотность Вселенной меньше критической величины. Поскольку содержание материи-энергии определяет искривленность пространства-времени, мы обнаруживаем, что материи-энергии недостаточно, чтобы сделать обратимым коллапс Вселенной. В таком случае Вселенная будет беспрепятственно расширяться, пока температура в ней не достигнет почти абсолютного нуля. При этом возрастает энтропия (которая измеряет степень хаоса или беспорядка во Вселенной). В конце концов Вселенную ждет энтропийная смерть.

Английский физик и астроном сэра Джеймс Джинс еще на рубеже нынешнего века писал об окончательной гибели Вселенной, называя это явление «тепловая смерть»: «Второй закон термодинамики предполагает, что конец у Вселенной может быть только один — “тепловая смерть” при температурах настолько низких, что жизнь при них невозможна»³.

Для того чтобы понять, как происходит энтропийная смерть, важно знать три закона термодинамики, которые управляют всеми химическими и ядерными процессами на Земле и звездах. Британский ученый и писатель Чарльз Сноу нашел оригинальный способ запоминания этих трех законов:

1. *Нельзя победить* (т. е. нельзя получить что-то без ничего, так материя и энергия сохраняются).
2. *Нельзя сыграть вничью* (нельзя вернуться в прежнее энергетическое состояние, поскольку беспорядок, энтропия всегда нарастают).
3. *Нельзя выйти из игры* (потому что абсолютный нуль недостижим).

Для смерти Вселенной наиболее важен второй закон, который гласит, что любой процесс дает прирост количества беспорядка (энтропии) во Вселенной. В сущности, второй закон термодинамики — неотъемлемая часть нашей повседневной жизни. Представьте себе, как добавляете сливки в чашку с кофе. Порядок (кофе и сливки в отдельной посуде) естественным образом сменяется беспорядком (произвольно смешанные сливки и кофе). Но процесс, обратный энтропии, — восстановление порядка из хаоса — чрезвычайно сложен. «Разделить» смешанные жидкости и поместить их в разную посуду невозможно без сложных химических преобразований. Точно так же горящая сигарета наполняет дымом пустую комнату и увеличивает в этой комнате энтропию. Порядок (табак и бумага) снова превращается в беспорядок (дым и пепел). Процесс, обратный энтропии, т. е. втягивание дыма в сигарету и превращение пепла в табак, невозможен даже в самой лучшей химической лаборатории планеты.

Аналогично, всем известно, что разрушать проще, чем строить. Строительство дома может занять целый год, а огню хватает одного-двух часов, чтобы разрушить его. Понадобилось почти 5000 лет, чтобы преобразить кочующие группы охотников в великую цивилизацию ацтеков, которая процветала в Мексике и Центральной Америке и возводила величественные памятники своим богам. Но Кортесу и конкистадорам понадобилось всего несколько месяцев, чтобы разделаться с цивилизацией ацтеков.

Энтропия неуклонно растет как на звездах, так и на нашей планете. В конечном итоге это означает, что звезды исчерпают запасы своего ядерного топлива и угаснут, превратившись

в мертвые массы ядерного вещества. Звезды одна за другой перестанут мерцать, Вселенная потемнеет.

Благодаря своим знаниям об эволюции звезд мы можем нарисовать довольно мрачную картину смерти Вселенной. Все звезды станут черными дырами, нейтронными звездами или холодными белыми карликами (в зависимости от их массы), и это произойдет в пределах 10^{24} лет после того, как их ядерные топки погаснут. Энтропия будет нарастать по мере скольжения звезд вниз, по кривой энергии связи, до тех пор, пока ядерное топливо не истощится окончательно. В пределах 10^{32} лет все протоны и нейтроны во Вселенной наверняка распадутся. Согласно теориям Великого объединения, протоны и нейтроны нестабильны при больших промежутках времени. Это означает, что в конце концов вся материя, известная нам, в том числе Земля и Солнечная система, распадется на мелкие частицы — электроны и нейтрино. Таким образом, разумные существа ждет малоприятная перспектива: протоны и нейтроны в их организме распадутся. Организм разумных существ уже не будет состоять из привычных 100 химических элементов, нестабильных на протяжении длительного времени. Разумной жизни придется найти способ создавать себе новые тела из энергии, электронов и нейтрино.

По прошествии невероятного множества лет — 10^{100} (гугол) температура во Вселенной почти достигнет абсолютного нуля. Разумная жизнь в этом мрачном будущем столкнется с перспективой вымирания. Не сумев подобраться ближе к звездам, представители разумной жизни замерзнут насмерть. Но даже в пустынной холодной Вселенной при температурах, близких к абсолютному нулю, останется еще один, последний источник энергии — черные дыры. Согласно космологу Стивену Хокингу, черные дыры не сплошь черные: на протяжении длительного времени энергия постепенно вытекает из них в космос.

В отдаленном будущем черные дыры могут стать спасителями человечества, так как они излучают энергию, испаряясь. Разумная жизнь неизбежно будет скапливаться вблизи черных дыр и получать от них энергию, чтобы приводить в дей-

ствие машины. Как мерзнущие бездомные жмутся к угасающему костру, так и разумные цивилизации сократятся до жалких и убогих поселений возле черной дыры⁴.

Но что же, спросите вы, будет дальше, по прошествии 10^{100} лет, когда запасы энергии испаряющихся черных дыр иссякнут? Астрономы Джон Барроу из Университета Суссекса и Джозеф Силк из Калифорнийского университета в Беркли предупреждают, что имеющиеся у нас на сегодняшний момент знания не дают ответа на такой вопрос. В таком временном масштабе квантовая теория, к примеру, оставляет открытым вопрос о возможности туннелирования нашей Вселенной в другую вселенную.

Вероятность событий такого рода исключительно мала, их понадобится ждать на протяжении периода, превышающего продолжительность жизни нашей нынешней Вселенной, так что нам незачем беспокоиться о том, что реальность коллапсирует при нашей жизни, а вместе с этим коллапсом появится и новый свод физических законов. Но если речь идет о промежутке продолжительностью 10^{100} лет, тогда даже такие редкие космические квантовые события не следует сбрасывать со счетов.

Барроу и Силк добавляют: «Где есть квантовая теория, там есть и надежда. Мы не можем быть абсолютно уверенными в том, что “тепловая смерть” неизбежна, так как не можем с полной определенностью предсказать будущее квантовомеханической Вселенной; ибо в бесконечном квантовом будущем все, что может произойти, в конце концов произойдет»⁵.

Бегство через высшие измерения

«Космический всхлип» и, вправду, печальная участь, которая ждет нас, если средняя плотность Вселенной слишком низка. А теперь предположим, что средняя плотность больше критической величины. Это означает, что процесс расширения сменится сжатием через десятки миллиардов лет, в итоге Вселенную уже не ждет ни лед, ни пламень.

В этом сценарии материи во Вселенной достаточно, а поскольку сила гравитационного притяжения в ней настолько велика, чтобы остановить расширение, то Вселенная постепенно выйдет из коллапса, далекие галактики вновь начнут сближаться. Для света звезд будет характерно «синее смещение» вместо красного, что указывает на быстрое приближение звезд друг к другу. Температура вновь поднимется до астрономических пределов. В конце концов жара станет настолько сильной, что вся материя обратится в газ.

Разумные существа увидят, как выкипят океаны их планеты и как атмосфера превратится в пылающую печь. Когда их планеты начнут распадаться, разумным существам останется только улететь в космос на гигантских ракетах. Но и космическое прибежище может оказаться негостеприимным. Температуры в конце концов поднимутся выше точки стабильности атомов, электроны начнут отрываться от ядер, возникнет плазма (как на нашем Солнце). В этот момент разумным существам могут потребоваться гигантские щиты вокруг их кораблей, и в дальнейшем им придется тратить всю имеющуюся энергию на то, чтобы не дать щитам распасться от нестерпимого тепла.

При дальнейшем повышении температуры начнут разделяться протоны и нейтроны в ядре. А потом и протоны с нейтронами распадутся на кварки. Как и черная дыра, Большое сжатие пожирает все. От него ничто не скроется. Невозможно поверить, что самая обычная материя, а тем более разумная жизнь выживет, несмотря на все эти расколы и разрывы.

Однако один возможный путь к бегству все же существует. В условиях катаклизма, когда коллапсирует все пространство-время, единственный способ спастись от Большого сжатия — покинуть пространство и время, бежать через гиперпространство. Этот способ не настолько надуман, как может показаться. Компьютерные вычисления, проведенные с применением теорий Калуцы–Клейна и суперструн, показали, что через несколько минут после сотворения четырехмерная Вселенная расширилась за счет шестимерной. Таким образом, у четырех- и шестимерных вселенных общая судьба.

При условии, что базовый сценарий верен, шестимерная Вселенная, парная нашей, может расширяться по мере коллапсирования нашей четырехмерной Вселенной. За несколько минут до того, как Вселенная полностью сожмется, разумные существа могут догадаться, что шестимерная Вселенная открывается, и найти способ воспользоваться этим фактом.

Сегодня межпространственные путешествия невозможны, потому что парная Вселенная сжата до планковских масштабов. Но на последних стадиях коллапса парная Вселенная может открыться и вновь сделать возможными пространственные путешествия. Если парная Вселенная расширится достаточно, тогда в нее могут ускользнуть материя и энергия, в итоге бегство станет возможным для любых разумных существ, достаточно сообразительных, чтобы рассчитать динамику пространства-времени.

Ныне покойный физик из Колумбийского университета Джералд Фейнберг так рассуждал о бегстве от сжимающейся Вселенной в другие измерения:

В настоящее время это не более чем научная фантастика. Но если число измерений действительно больше, чем нам известно, если есть четырехмерное пространство вдобавок к тому, в котором мы живем, тогда, я думаю, весьма вероятно, что существует какое-то физическое явление, обеспечивающее связь между ними. Можно предположить, что если интеллектуальные ресурсы во Вселенной сохранятся, то за время гораздо меньшее, чем миллиарды лет до Большого сжатия, удастся выяснить, правомерна ли эта догадка, и если да, как воспользоваться ею⁶.

Колонизация Вселенной

Почти все ученые, занимавшиеся вопросами гибели Вселенной, — от Бертрана Рассела до современных космологов — полагали, что разумная жизнь окажется почти беспомощной перед лицом неизбежной, окончательной агонии Вселенной.

Даже теория о том, что разумные существа могут туннелировать через гиперпространство и избежать Большого сжатия, подразумевает, что эти существа останутся пассивными жертвами вплоть до последних минут коллапса.

Однако физики Джон Барроу из Университета Суссекса и Фрэнк Типлер из Тулейнского университета в своей книге «Антропный космологический принцип» (The Anthropic Cosmological Principle) отступили от общепринятых взглядов и пришли к прямо противоположному выводу: разумная жизнь через миллиарды лет эволюции сыграет активную роль в последние моменты жизни нашей Вселенной. Эти ученые придерживаются весьма неортодоксального взгляда, согласно которому техника и технология будут экспоненциально развиваться и впредь, на протяжении миллиардов лет, постоянно набирая ускорение пропорционально уровню развития, на котором находятся. Чем больше звездных систем колонизируют разумные существа, тем больше звездных систем они могут колонизировать. Барроу и Типлер утверждают, что через несколько миллиардов лет разумные существа полностью колонизируют обширные области видимой Вселенной. Однако авторы теории консервативны: они не считают, что разумные существа овладеют искусством путешествий через гиперпространство. Они лишь полагают, что ракеты разумных существ будут двигаться со скоростями, близкими к световым.

Этот сценарий заслуживает серьезного отношения по нескольким причинам. Во-первых, ракетам, передвигающимся со скоростями, близкими к световым (приводимым в движение, допустим, фотонными двигателями, в которых используется сила лучей больших лазеров), могут понадобиться сотни лет, чтобы достичь далеких звездных систем. Тем не менее Барроу и Типлер верят, что разумные существа будут процветать на протяжении миллиардов лет, а этого времени достаточно, чтобы колонизировать и свою, и соседние галактики даже с помощью ракет, имеющих скорости ниже световой.

Не имея в виду путешествия в гиперпространстве, Барроу и Типлер утверждают, что разумные существа запустят

в галактику со скоростями, близкими к световым, миллионы маленьких «зондов фон Неймана», чтобы найти звездные системы, пригодные для колонизации. Выдающийся математик Джон фон Нейман, разработавший первый электронный компьютер в Принстонском университете во время Второй мировой войны, вывел строгое доказательство тому, что роботы или автоматы можно наделить способностью программировать, чинить и даже создавать углеродные копии самих себя. Барроу и Типлер полагают, что зонды фон Неймана смогут функционировать в целом независимо от их создателей. Эти маленькие зонды будут существенно отличаться от очередного поколения зондов «Викинг» и «Пионер» — пассивных, перепрограммируемых машин, подчиняющихся приказам своих хозяев-людей. Зонды фон Неймана будут подобны «Астро-чикену» Дайсона, только гораздо мощнее и умнее. Эти зонды смогут проникать в новые солнечные системы, высаживаться на планетах, вести поиск полезных химических веществ и металлов. Они смогут даже создавать небольшие промышленные комплексы для производства многочисленных роботов, копий этих зондов. С таких плацдармов к новым звездным системам будет запущено еще больше зондов фон Неймана.

Поскольку зонды самопрограммируемые, им не понадобятся инструкции с родной планеты, они смогут исследовать миллионы звездных систем совершенно автономно, лишь время от времени сообщая на Землю о своих находках. С помощью миллионов таких зондов фон Неймана, создающих миллионы собственных копий, «питающихся» химическими веществами планет и «переваривающих» эти вещества, разумная цивилизация сумеет сократить время на исследование не самых интересных для нее звездных систем. (Барроу и Типлер даже высказали предположение, что зонды фон Неймана, запущенные далекими цивилизациями, уже побывали в нашей Солнечной системе. Возможно, таинственные монолиты в фильме «Космическая одиссея 2001 года» — зонды фон Неймана.)

К примеру, в «Звездном пути» исследование Федерацией других звездных систем показано довольно примитивно.

Процесс исследования всецело зависит от навыков людей на небольшом количестве космических кораблей. Снятый по такому сценарию сериал представляет интерес для зрителей, однако показанный в нем метод звездных исследований совершенно неэффективен, поскольку многие планетарные системы, скорее всего, непригодны для жизни. Экспедиции зондов фон Неймана не настолько увлекательны, как приключения капитана Кирка, капитана Пикара и их экипажей, но более пригодны для галактических исследований.

Барроу и Типлер приняли второе допущение, важное с точки зрения их доводов: расширение Вселенной в конце концов замедлится и через десятки миллиардов лет начнется процесс, обратный ему. На этапе сжатия Вселенной расстояния между галактиками будут сокращаться, облегчая разумным существам задачу колонизации галактик. По мере ускорения сжатия Вселенной, темпы колонизации соседних галактик также ускорятся, и так будет продолжаться вплоть до полной колонизации всей Вселенной.

Несмотря на то что Барроу и Типлер полагают, что разумная жизнь распространится по всей Вселенной, они не в состоянии объяснить, каким образом какие-либо формы этой жизни сумеют выдержать невероятно высокую температуру и давление в результате окончательного коллапса Вселенной. Ученые признают, что температура на этапе сжатия будет настолько высока, что превратит в пар любое живое существо, но полагают, что роботы окажутся достаточно термостойкими, чтобы пережить последние моменты коллапса.

Воссоздание Большого взрыва

В таком же духе Айзек Азимов строил догадки о том, как отреагируют на окончательную гибель Вселенной разумные существа. В рассказе «Последний вопрос» (Last Question) Азимов задается давним вопросом о том, неизбежна ли смерть Вселенной и что будет со всей разумной жизнью, когда наступит

Судный день. Однако Азимов полагает, что Вселенная погибнет во льдах, а не в огне, поскольку звезды перестанут сжигать водород и температура резко упадет до абсолютного нуля.

Действие рассказа начинается в 2061 г., когда колоссальный компьютер решил энергетическую проблему Земли, сконструировав в космосе огромный солнечный спутник, направляющий энергию Солнца прямоком на Землю. Этот АК (аналоговый компьютер*) оказался настолько совершенным, что обслуживающие его специалисты лишь смутно догадывались о том, как он работает. Выпив и поспорив на пять долларов, два лаборанта задают компьютеру вопрос о том, можно ли избежать смерти Солнца, и если уж на то пошло, действительно ли неизбежна смерть Вселенной. Обдумав поставленный вопрос, АК отвечает: «Для осмысленного ответа недостаточно данных».

Через несколько столетий АК решил проблему путешествий в гиперпространстве, и люди принялись колонизировать тысячи звездных систем. Сам АК становится настолько громадным, что занимает несколько сотен квадратных миль на каждой планете, и таким сложным, что он сам ремонтирует и обслуживает себя. Молодая семья совершает полет в гиперпространстве, руководствуясь безошибочными инструкциями АК в поисках новой звездной системы для колонизации. Отец мимоходом упоминает, что звезды в конце концов умрут, и дети закатывают истерику. «Пожалуйста, не разрешай звездам умирать!» — умоляют они. Чтобы успокоить детей, отец спрашивает АК, можно ли обратить энтропию вспять. «Вот видите, — говорит отец, прочитав ответ. — АК все может». И добавляет, утешая детей: «Когда настанет время, АК обо всем позаботится». Отец скрывает от детей, что компьютер напечатал в ответ: «Для осмысленного ответа недостаточно данных».

Через тысячу лет галактика колонизирована. АК решил проблему бессмертия и обуздал энергию галактики, но теперь

* В одном из русских переводов — Мультивак. — *Прим. пер.*

возникла необходимость в колонизации новых галактик. АК настолько сложен, что время, когда хоть кто-нибудь понимал, как он работает, осталось в давнем прошлом. АК постоянно совершенствуется и модифицирует сам себя. Два члена Галактического совета, возраст каждого из которых насчитывает сотни веков, обсуждают насущный вопрос о поиске новых галактических источников энергии и гадают, неужели ее запасы во Вселенной иссякают. Можно ли обратить энтропию вспять, спрашивают они. АК отвечает: «Для осмысленного ответа недостаточно данных».

Проходят миллионы лет, за которые человечество успевает расселиться по бесчисленным галактикам Вселенной. АК решил проблему отделения разума от тела, человеческий разум получил возможность исследовать миллионы обширных галактик, пока тело находится в безопасности на какой-нибудь давно забытой планете. Два разума случайно встречаются в космосе и ненароком задаются вопросом, какая из бесчисленного множества галактик — родина людей. В ответ АК, который стал настолько велик, что большей частью помещается в гиперпространстве, переносит оба разума в некую безвестную галактику. Оба разочарованы. Галактика заурядна, как миллионы прочих, звезда в ней давным-давно погасла. Обоих охватывает беспокойство, ведь миллиарды звезд в небе медленно приближаются к той же участи. И разумы задают вопрос: можно ли избежать смерти Вселенной? АК отвечает из гиперпространства: «Для осмысленного ответа недостаточно данных».

Проходят миллиарды лет, человечество исчисляется триллионами триллионов бессмертных тел, за каждым из которых ухаживают роботы. Коллективный человеческий разум, способный свободно перемещаться куда угодно во Вселенной, наконец становится единым разумом, а тот, в свою очередь, сливается с АК. Спрашивать АК, из чего тот сделан или где именно в гиперпространстве он находится, уже бесполезно. «Вселенная умирает», — думает Человек единым разумом. Одна за другой звезды и галактики прекращают выраба-

тивать энергию, температура повсюду во Вселенной приближается к абсолютному нулю. Человек в отчаянии спрашивает, неужели холод и тьма в конце концов окутают галактику, и это будет означать ее смерть. АК из гиперпространства отвечает: «Данных для осмысленного ответа все еще недостаточно».

На приказ Человека собрать недостающие данные, АК отвечает: «Я буду это делать, как уже делал сотни миллиардов лет. Моим предшественникам этот вопрос задавали много раз. Всех моих данных по-прежнему недостаточно».

Неизвестно, сколько времени проходит потом, но Вселенная погибает окончательно. АК в гиперпространстве целую вечность собирает данные и обдумывает последний вопрос. Наконец АК находит решение, хотя дать найденный ответ уже давно некому. АК старательно формулирует программу, а потом приступает к процессу создания порядка из хаоса. Он собирает холодный межзвездный газ и умершие звезды в один гигантский ком.

Покончив с этим делом, АК возвещает из гиперпространства: «Да будет свет!»

И стал свет.

А на седьмой день Он отдыхал.

Заключение

Знание конечно, незнание бесконечно; в интеллектуальном отношении мы стоим на островке посреди бескрайнего океана необъяснимого. Наша задача — с каждым новым поколением отвоевывать еще клочки суши.

Томас Гексли

Вероятно, одним из самых значительных открытий прошлого века в области физики стало понимание, что природа на ее самом фундаментальном уровне проще, чем можно было предположить. Несмотря на то что математическая сложность десятимерной теории достигает головокружительных высот, открывающих новые области математики, ее основные концепции, способствующие объединению, например многомерное пространство и струны, отличаются простотой и геометричностью.

Судить об этом еще слишком рано, но, возможно, будущие историки науки, оглядываясь назад, на беспокойный XX в., признают одной из величайших концептуальных революций появление таких теорий многомерности пространства-времени, как теория суперструн или теория Калуцы–Клейна. Как концентрические окружности Коперника упростили представление о Солнечной системе и опровергли роль Земли в качестве центра Вселенной, так и десятимерная теория обещает значительно упростить законы природы и развенчать привычные представления о трехмерном мире. Как мы видели, принципиально важно было понять, что трехмерная модель мира, например Стандартная модель, «слишком мала»

для объединения всех фундаментальных сил природы в одной всеобъемлющей теории. Пытаясь втиснуть четыре фундаментальные силы в трехмерную теорию, мы получаем уродливое, надуманное и совершенно некорректное описание природы.

Таким образом, главная идея теоретической физики последнего десятилетия состоит в том, что фундаментальные законы физики упрощаются в высших измерениях и что все физические законы, по всей видимости, могут быть объединены в десяти измерениях. Эти теории позволяют свести огромный объем информации к лаконичной и элегантной модели, объединяющей две величайшие теории XX в. — квантовую и общую теорию относительности. Пожалуй, пора поговорить о значении десятимерной теории для будущего физики и науки, обсудить споры между сторонниками редукционизма и холизма в природе, а также эстетическую связь физики, математики, религии и философии.

Десятимерность и эксперимент

В приливе воодушевления и суматохе, которыми сопровождается рождение любой значительной теории, легко забыть о том, что в конечном счете любая теория должна опираться на фундамент эксперимента. Какой бы элегантной и прекрасной ни казалась теория, если она не согласуется с реальностью, она обречена.

Гёте писал: «Теория, мой друг, суха, но зеленеет жизни древо». История неоднократно подтверждала правильность этого точного замечания. Известно немало примеров ошибочных теорий, которые годами держались на одном только авторитете недалеких, но влиятельных ученых. Порой противостояние власти косных мастодонтов от науки становилось политически рискованным предприятием. Многие из таких теорий удавалось опровергнуть лишь с помощью убедительных экспериментов, наглядно демонстрирующих их некорректность.

Так, благодаря славе и значительному влиянию Германа фон Гельмгольца в Германии XIX в. его теория электромагнетизма пользовалась среди ученых гораздо большей популярностью, чем сравнительно малоизвестная теория Максвелла. Но, несмотря на всю известность Гельмгольца, в конце концов эксперименты подтвердили теорию Максвелла, и теория Гельмгольца была предана забвению. Аналогично, когда Эйнштейн выдвинул теорию относительности, многие влиятельные ученые нацистской Германии, такие как нобелевский лауреат Филипп Ленард, травили Эйнштейна, пока в 1933 г. не выжили его из Берлина. Таким образом, в любой науке, особенно в физике, большую и важную работу выполняют экспериментаторы, не позволяющие теоретикам отклониться от истины.

Виктор Вайскопф, физик-теоретик из Массачусетского технологического института, однажды охарактеризовал взаимоотношения между теоретической и экспериментальной наукой: существует три типа физиков — «строители машин» (те, кто строит ускорители частиц, благодаря которым возможно проведение экспериментов), экспериментаторы (которые планируют и проводят эксперименты) и теоретики (разрабатывающие теорию с целью объяснения экспериментов). Затем он сравнил работу ученых всех трех типов с плаванием Колумба в Америку.

Строителей машин можно сравнить с капитанами и кораблестроителями, действительно в те времена развивавшими технику. Экспериментаторами были экипажи кораблей, которые плыли на край света, открывали новые острова и просто описывали увиденное. А теоретики — те, кто остались в Мадриде и сказали Колумбу, что ему предстоит высадиться на берегах Индии¹.

Но если законы физики объединяются в десяти измерениях только для энергии, значительно превосходящей всю доступную нашей современной технике и технологии, тогда будущее

экспериментальной физики под угрозой. В прошлом каждое новое поколение ускорителей частиц порождало новое поколение теорий. Возможно, этот период подходит к концу.

Несмотря на то что все ждали сюрпризов, после того как в 2000 г. будет введен в действие Сверхпроводящий суперколлайдер, некоторые убеждены, что он просто должен подтвердить правильность современной Стандартной модели. Вероятнее всего, эксперименты, которые окончательно подтвердят или опровергнут правильность десятимерной теории, провести в ближайшем будущем невозможно. Может оказаться, что мы входим в продолжительный период, во время которого исследования десятимерных теорий останутся чисто математическим упражнением. Все теории черпают силу и мощь в экспериментах, которые, подобно плодородной почве, способны взрастить и поддерживать целый луг цветущих растений, как только те пустят корни. Если же почва становится сухой и бесплодной, растения на ней вянут.

Дэвид Гросс, один из авторов теории гетеротической струны, сравнил развитие физики с взаимоотношениями двух альпинистов:

Раньше дело обстояло так, будто мы взбирались на гору и экспериментаторы прокладывали путь. А мы, лентяи-теоретики, тащились позади. Время от времени вниз ради эксперимента сбрасывали камушек, который отскакивал от наших голов. В конце концов нас осеняло, и мы следовали по пути, проложенном экспериментаторами... А теперь, возможно, нам, теоретикам, предстоит встать в авангарде. Нам придется действовать в одиночку. В прошлом мы всегда знали, где находятся экспериментаторы и, следовательно, к чему должны стремиться мы. А теперь мы понятия не имеем, насколько высока гора и где ее вершина.

По традиции экспериментаторы становились первооткрывателями новых территорий, однако следующая эра в развитии физики может оказаться настолько трудной, что теоретики будут вынуждены выступить вперед, как указывает Гросс.

Вероятно, с помощью Сверхпроводящего суперколлайдера будут обнаружены новые частицы — к примеру, бозоны Хиггса, «суперпартнеры» кварков, а может, вскроется новый слой, расположенный под кварками. Однако фундаментальные силы, связывающие друг с другом эти частицы, останутся неизменными, если теория получит подтверждение. Благодаря Сверхпроводящему суперколлайдеру мы можем столкнуться с более сложными полями Янга–Миллса и глюонами, однако эти поля могут представлять собой всего лишь более внушительные группы симметрии, фрагменты еще более крупной симметрии $E(8) \times E(8)$, соответствующей теории струн.

В некотором смысле истоки напряженности в отношениях между теорией и экспериментом объясняются тем, что эта теория представляет, как отмечал Виттен, «физику XXI в., случайно попавшую в XX в.»². Поскольку естественная диалектика теории и опыта была нарушена неожиданными, случайными открытиями теории в 1968 г., нам, вероятно, придется дождаться XXI в. и появления новых технологий, а также надеяться на новые поколения ускорителей частиц, счетчиков космического излучения, зондов для дальнего космоса. Возможно, это и есть цена, которую нам предстоит заплатить за запретную физику следующего века, которую мы увидели украдкой. Может быть, к тому времени мы косвенно, в процессе экспериментов обнаружим проблески десятого измерения в лабораториях.

Десять измерений и философия: редукционизм против холизма

Любая значимая теория оказывает одинаково заметное влияние на технологию и основы философии. Рождение общей теории относительности открыло новые области исследований в астрономии и практически создало космологию как науку. Философский смысл Большого взрыва отголосками разошелся в философском и теологическом сообществе. Несколько лет

назад ведущие космологи даже удостоились особой аудиенции папы в Ватикане и обсудили теорию Большого взрыва применительно к Библии и Книге Бытия.

Аналогично квантовая теория породила науку о субатомных частицах и способствовала нынешней революции в области электроники. Транзистор, на котором держится современное технологическое общество, — устройство, целиком построенное на принципах квантовой механики. Не менее ощутимым стало воздействие принципа неопределенности Гейзенберга на полемику о свободе воли и детерминизме, а также на религиозный догмат о роли греха и искупления для церкви. Споры вокруг квантовой механики затронули и католическую, и пресвитерианскую церковь, которые делали немалую идеологическую ставку на исход этих споров, касающийся предопределения. Хотя весь подтекст десятилетней теории еще неизвестен, в конечном итоге можно ожидать, что революция, назревающая сейчас в мире физики, окажет столь же масштабное влияние, как только эта теория станет доступной среднестатистическому человеку.

Обычно физики не очень любят рассуждать о философии. В первую очередь они прагматики. Они не руководствуются планами или идеологией, а наталкиваются на законы физики в основном в минуты озарений в процессе проб и ошибок. Физики помоложе, выполняющие львиную долю работы в ходе исследований, слишком заняты разработкой новых теорий, чтобы тратить время на философствования. На самом деле молодые ученые неодобрительно косятся на старших товарищей, если те проводят слишком много времени, заседавая в высоких политических комиссиях или разглагольствуя о философии науки.

Большинство физиков считает, что за исключением туманных идей «истины» и «красоты» философия не имеет права вторгаться в их частную сферу. Они утверждают, что реальность, как правило, оказывается гораздо более изощренной и хитроумной, чем любые философские гипотезы. Они напоминают нам о некоторых известных деятелях науки, кото-

рые на закате своей деятельности конфузили окружающих, высказывая эксцентричные философские идеи, заводившие их в тупик.

Сталкиваясь при выполнении квантовых измерений с такими каверзными философскими вопросами, как роль «сознания», большинство физиков пожимает плечами. Пока они в состоянии обчислить результат эксперимента, им нет дела до его философского подтекста. Фактически Ричард Фейнман сделал карьеру, разоблачая напыщенные притязания некоторых философов. Чем пышнее их риторика и витиеватее лексикон, считал он, тем слабее научный фундамент их доводов. (Споры о сравнительных достоинствах физики и философии порой напоминают мне служебную записку одного главы университета, который проанализировал разницу между этими учеными. Он писал: «И почему же это вам, физикам, всегда требуется так много дорогостоящей аппаратуры? Вон кафедра математики ничего не просит, кроме бумаги, карандашей и мусорных корзин. А кафедра философии еще лучше: ей даже мусорных корзин не нужно»³.)

Несмотря на то что среднестатистический физик не замораживается философскими вопросами, величайшие научные умы уделяли им внимание. Эйнштейн, Гейзенберг и Бор часами вели жаркие споры, засиживались допоздна, обсуждая значение измерений, проблемы сознания, смысл вероятности в своей работе. Таким образом, вопрос о том, как теории многомерности отражают философский конфликт, вполне уместен, особенно если речь идет о спорах между «редукционизмом» и «холизмом».

Хайнц Пейджелс однажды сказал: «Мы страстно переживаем свои жизненные впечатления, и почти все мы проецируем свои надежды и опасения на Вселенную»⁴. Таким образом, вторжение философских и даже личных вопросов в дискуссию о теориях многомерности неизбежно. Возрождение многомерности в физике вновь разожжет споры между сторонниками «редукционизма» и «холизма», которые не раз разгорались и затухали в последнее десятилетие.

Словарь Уэбстера определяет *редукционизм* как «процесс или теорию, которая сводит сложные данные или явления к простым понятиям». Это один из основных подходов в субатомной физике — сводить атомы и ядра к их основным компонентам. К примеру, поразительный экспериментальный успех Стандартной модели в объяснении свойств сотен субатомных частиц свидетельствует о том, что обращаться к простейшему «строительному материалу» материи бывает полезно.

Согласно словарю Уэбстера *холизм* — «теория, согласно которой определяющие факторы, особенно в живой природе, — несократимое целое». С точки зрения холизма западный философский подход, в основе которого лежит разложение вещей на их составляющие, чрезмерно упрощен и не дает увидеть картину в целом, которая может содержать жизненно важную информацию. К примеру, представим себе колонию муравьев, которую составляют тысячи особей, подчиняющихся сложным динамическим правилам социального поведения. Вопрос: какой способ изучения поведения колонии муравьев наилучший? Редукционист разложит муравьев на их составляющие, органические молекулы. Но можно сотни лет препарировать муравьев и анализировать их молекулярный состав и так и не понять, каким законам подчиняется поведение колонии. Очевидный способ — проанализировать поведение колонии как единого целого, не пытаясь разложить ее на компоненты.

Аналогичным образом этот вопрос вызвал бурные споры в сфере исследований мозга и искусственного интеллекта. Редукционистский подход означает низвести мозг до составляющих его единиц, клеток мозга, чтобы затем вновь собрать из них мозг. Целая исследовательская школа, специализирующаяся на искусственном интеллекте, убеждена, что, создавая элементарные цифровые схемы, можно последовательно строить все более сложные схемы и т. д., вплоть до получения искусственного интеллекта. Хотя в 50-х гг. XX в. эта школа поначалу добилась успеха в моделировании «интеллекта» наподобие современного цифрового компьютера, дальней-

шая работа принесла разочарования, так как результат даже отдаленно не напоминал простейшие функции мозга, такие как распознавание образов на фотографии.

Вторая школа пытается применить более холистический подход к мозгу. Она определяет функции мозга и создает модели, в которых мозг рассматривается как единое целое. Несмотря на то что этот подход поначалу с трудом пробивал дорогу в жизнь, он кажется перспективным, так как некоторые функции мозга, которые мы принимаем как должное (к примеру, допустимость ошибок, оценка неопределенности, создание ассоциативных связей между разными объектами), встроены в систему изначально. Такой естественный подход используется, например, в теории нейронных сетей.

Представители редукционизма и холизма имеют слабое представление о противоположной стороне. В усердных попытках развенчать соперника они порой выставляют себя не в лучшем свете. Зачастую они не слышат друг друга, не обращаются к ключевым моментам.

Очередным поворотом этого спора в последние несколько лет стало провозглашение редукционистами победы над холистами. Недавно в популярной прессе прошла волна заявлений редукционистов о том, что успехи Стандартной модели и теорий Великого объединения подтверждают правильность сведения природы к все более мелким и элементарным составляющим. Исследуя элементарные кварки, лептоны и поля Янга–Миллса, физики в конце концов выявили основные составляющие всей материи. К примеру, физик Джеймс Трефил из Университета Виргинии наносит удар по холизму, объявляя о «Триумфе редукционизма» (Triumph of Reductionism):

В 60–70-х гг. XX в., когда сложность мира частиц становилась все более очевидной в ходе многочисленных экспериментов, некоторые физики разуверились в редукционистском подходе и начали поиски руководства к действию за пределами западных традиций. К примеру, в своей книге «Дао физики» (The Tao of Physics) Фритьоф Капра утверждал, что фило-

софия редукционизма потерпела фиаско и что пора принять на вооружение более холистический и мистический взгляд на природу... Однако 1970-е гг. можно считать периодом, когда великие традиции западной научной мысли, подвергавшиеся опасности в ходе научного прогресса XX в., полностью реабилитировали себя. Возможно, понадобится некоторое время, прежде чем эта убежденность выйдет за пределы небольшой группы физиков-теоретиков и станет частью нашего общего мировоззрения⁵.

Однако сторонники холизма подошли к этому спору с других позиций и заявили, что идея объединения, вероятно, самая значительная в физике, по своей сути холистическая, а не редукционистская. Они напоминают о том, как редукционисты посмеивались за спиной Эйнштейна в последние годы его жизни, поговаривали, что он, видно, впадает в маразм, если пытается объединить все существующие в мире силы. Идею объединяющих закономерностей в физике первым выдвинул Эйнштейн, а не редукционисты. Более того, неспособность редукционистов предложить убедительное решение парадокса с котом Шрёдингера доказывает, что они просто предпочитают игнорировать более глубокие философские вопросы. Да, редукционисты добились больших успехов в исследовании теории квантового поля и Стандартной модели, но в конечном итоге этот успех построен на песке, так как квантовую теорию нельзя назвать завершенной.

Разумеется, свои достоинства есть и у той и у другой стороны. Просто они обращаются к разным аспектам сложной проблемы. Однако их спор, доведенный до крайности, порой выливается в то, что я назвал бы битвой между воинственной и невежественной наукой.

Воинственная наука орудует тяжеловесными и негибкими представлениями, которые скорее вызывают отторжение, чем убеждают. Она стремится скорее набрать очки в спорах, чем завоевать аудиторию. Вместо того чтобы апеллировать к интуиции непосвященных, представая в роли защит-

ницы просветленного разума и здравого смысла, она выглядит как новоявленная испанская инквизиция. Воинственная наука — это наука, которая только и ждет повода подраться. Ее сторонники обвиняют противников в глуповатости, в нечеткости представлений о физике, в попытках прикрыть невежество псевдонаучной чепухой. Таким образом, воинственная наука, возможно, и выигрывает отдельные сражения, но в конечном счете проигрывает войну. Из схватки один на один воинственная наука может выйти победительницей, забросав противника данными и учеными степенями. Но в долгосрочной перспективе ей аукаются и высокомерие, и самомнение, отчуждая от нее ту самую аудиторию, которую она надеется убедить.

Невежественная наука ударяется в другую крайность, отвергая эксперименты и принимая на вооружение любую причудливую философию, какая попадается. Нежелательные факты для нее — несущественная деталь, основополагающие принципы — всё. Если факты не укладываются в философию, тогда что-то не так с фактами. Невежественная наука следует заранее определенной программе, в основе которой лежит личная реализация, а не объективное наблюдение, и пытается задним числом вместить в нее науку.

Раскол между этими двумя фракциями впервые возник во время войны во Вьетнаме, когда «поколение хиппи» ужаснулось массовому, неоправданному применению смертоносных технологий против аграрной страны. Но в последнее время сферой, в которой этот законный спор разгорается особенно жарко, стало, пожалуй, личное здоровье. К примеру, высокооплачиваемые лоббисты, действующие в интересах могущественных агропромышленных и пищевых предприятий, в 50–60-х гг. XX в. оказывали значительное влияние на конгресс и учреждения здравоохранения, препятствуя тщательному изучению вредного влияния холестерина, табака, животных жиров, пестицидов, некоторых пищевых добавок на развитие сердечных и онкологических заболеваний, что сейчас уже подтверждено документально.

Недавний пример — скандал вокруг пестицида алара, обнаруженного в яблоках. Объявив, что нынешнее содержание пестицидов в яблоках способно убить до 5000 детей, защитники окружающей среды из Национального совета по охране природных ресурсов вызвали взрыв беспокойства среди покупателей и возмущение представителей пищевой отрасли, последние обвинили их в распространении паники. В дальнейшем выяснилось, что в отчете, на основании которого были сделаны данные выводы, использовались цифры и сведения, которыми располагали федеральные правительственные органы. Это, в свою очередь, подразумевало, что Управление по надзору за продуктами и медикаментами могло принести в жертву жизнь 5000 детей, сочтя такой риск «допустимым».

Вдобавок сенсационное известие о широчайшем распространении загрязнения питьевой воды свинцом, способным вызвать серьезные неврологические заболевания у детей, привело лишь к снижению авторитета науки в глазах большинства американцев. Медицина, пищевая и химическая промышленность перестают пользоваться доверием у довольно внушительной части общества. Эти и другие скандалы также внесли свой вклад в распространение модных диет, многие из которых предлагаются с лучшими намерениями, но с точки зрения науки неубедительны.

Высший синтез в высших измерениях

Две вышеупомянутые и явно непримиримые философские позиции следует рассматривать в более широком масштабе. Антагонистическими они становятся лишь в своих крайних проявлениях.

Вероятно, высший синтез обеих точек зрения находится в высших измерениях. Геометрия, почти по определению, не может соответствовать традиционному редукционизму. Изучая микроскопическую частицу нитки, мы вряд ли сумеем представить себе гобелен целиком. Аналогично, рассматривая

микроскопический участок некой поверхности, мы не определим общую структуру этой поверхности. Высшие измерения, по определению, подразумевают возможность выбрать точку, с которой открывается более широкий, глобальный обзор.

Подобно этому, геометрия не может быть исключительно холистической. Просто обратить внимание на то, что поверхность в высших измерениях сферическая, недостаточно, чтобы получить информацию, необходимую для определения свойств кварков, которые она содержит. Способ скручивания этого измерения в шарик определяет природу симметрии кварков и глюонов на этой поверхности. Таким образом, сам по себе холизм не дает нам данных, необходимых для преобразования десятимерной теории в физически релевантную теорию.

В каком-то смысле геометрия высших пространств заставляет нас признать единство холистического и редукционистского подходов. Это просто два способа смотреть на одно и то же — геометрию. Две стороны одной медали. С точки зрения геометрии не имеет значения, выбираем мы редукционистский (объединяя кварки и глюоны в пространстве Калуцы–Клейна) или холистический подход (взяв поверхность Калуцы–Клейна и открывая симметрию кварков и глюонов).

Можно предпочесть один подход другому, но лишь в исторических или педагогических целях. По историческим причинам можно подчеркнуть редукционизм истоков физики субатомных частиц, указывая, как специалисты по физике частиц за 40 лет сумели свести вместе три из фундаментальных сил, разгоняя атомы. Или можно придерживаться более холистического подхода и утверждать, что окончательное объединение квантовых сил с гравитацией подразумевает глубокое понимание геометрии. В итоге к физике частиц мы подходим через теории Калуцы–Клейна и струн, а Стандартную модель рассматриваем как следствие скручивания многомерного пространства.

Оба эти подхода правомерны. В книге «За пределами научной мысли Эйнштейна: Космические поиски теории Вселенной» (Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe) мы с Дженнифер Трейнер избрали более редук-

ционистский подход и рассказали о том, как открытие тех или иных явлений в зримой Вселенной в конце концов привело к геометрическому описанию материи. Здесь же мы придерживаемся противоположного подхода, начинаем с незримой Вселенной, а концепцию упрощения законов природы в высших измерениях рассматриваем как главную тему. Так или иначе, оба подхода дают одинаковый результат.

Можно привести еще один аналогичный пример: споры по поводу левого и правого полушарий мозга. Специалисты в области нейробиологии в ходе экспериментов выяснили, что полушария нашего мозга выполняют явно различные функции, и расстроились, обнаружив, что в популярной прессе полученные ими данные интерпретируют совершенно превратно. Во время экспериментов они обнаружили, что, когда человеку показывают изображение, левый глаз (или правое полушарие) уделяет больше внимания конкретным деталям, в то время как правый глаз (или левое полушарие) легче охватывает изображение в целом. Тревогу же вызвало заявление популяризаторов о том, что левое полушарие мозга — «холистическое», а правое — «редукционистское». При этом различия между полушариями рассматриваются вне контекста, что в итоге приводит к самым невероятным интерпретациям и советам, как управлять мыслями в повседневной жизни.

Как выяснили ученые, в отношении функционирования мозга правильнее считать, что оба полушария действуют синхронно и что диалектика обоих полушарий гораздо важнее специфических функций каждого из них. По-настоящему интересная динамика наблюдается, когда оба полушария мозга взаимодействуют гармонично.

Если же кто-то усматривает победу одного подхода над другим в недавних успехах физики, то, вероятно, придает слишком большое значение экспериментальным данным. Пожалуй, разумнее всего сделать вывод, что наибольшую пользу науке приносит тесное взаимодействие обоих подходов.

Посмотрим, как именно это происходит. Теория многомерности дает нам возможность разрешить проблему двух диаме-

трально противоположных подходов, и сделаем мы это на примере кота Шрёдингера и теории S-матрицы.

Кот Шрёдингера

Сторонники холизма порой нападают на редукционизм, нанося удар по самому слабому месту квантовой теории — вопросу о коте Шрёдингера. Редукционисты не в состоянии дать разумное объяснение парадоксам квантовой механики.

Как мы помним, в квантовой теории чаще всего замешательство вызывает то, что наблюдателю необходимо делать измерения. Таким образом, до того как сделаны наблюдения, кот может быть либо мертвым, либо живым, а луна может либо находиться, либо не находиться в небе. Обычно от таких соображений отмахиваются как от абсурдных, но квантовая механика была неоднократно подтверждена в лабораторных условиях. Поскольку для ведения наблюдений требуется наблюдатель, а ему необходимо сознание, сторонники холизма утверждают, что для объяснения существования любого объекта должно существовать космическое сознание.

Теории многомерности не дают исчерпывающего ответа на этот сложный вопрос, но определенно представляют его в новом свете. Проблема заключается в разграничении наблюдателя и наблюдаемого. Однако для квантовой гравитации мы записываем волновую функцию всей Вселенной. Различий между наблюдателем и наблюдаемым больше нет: квантовая гравитация предусматривает существование только волновой функции для всего.

В прошлом такие утверждения были бессмысленными, поскольку квантовая гравитация не существовала как теория. Расхождения возникали всякий раз, когда кому-то требовалось выполнить физически релевантные вычисления. Так что идея волновой функции для целой Вселенной не имела смысла, несмотря на всю свою притягательность. Но с появлением десятимерной теории смысл волновой функции всей Вселенной снова ста-

новится релевантной идеей. Вычисления с волновой функцией Вселенной могут свидетельствовать о том, что эта теория в конечном итоге десятимерна, следовательно, перенормируема.

Это частичное решение вопроса о наблюдении вновь требует использования достоинств обоих подходов. С одной стороны, полученная картина носит редукционистский характер, так как почти в точности следует стандартному для квантовой механики объяснению реальности без ссылок на сознание. С другой стороны, это холистический подход, так как он начинается с волновой функции всей Вселенной, а это в высшей степени холистическое выражение! Для общей картины не требуются различия между наблюдателем и наблюдаемым. На ней всё, в том числе все объекты и те, кто наблюдает за ними, включено в волновую функцию.

Тем не менее это лишь частичное решение, так как сама космическая волновая функция, описывающая всю Вселенную, не имеет определенного состояния, а состоит из всех возможных вселенных. Таким образом, проблема неопределенности, впервые открытая Гейзенбергом, теперь распространена на всю Вселенную.

Наименьшая единица, которой мы можем оперировать в этих теориях, — сама Вселенная, а наименьшая единица, которую можно квантовать, — пространство всех возможных вселенных, в которое входят и мертвые, и живые коты. Таким образом, в одной вселенной кот действительно мертв, зато в другой — жив. Однако обе вселенные находятся в одном и том жеместилище — волновой функции Вселенной.

Детище теории S-матрицы

Как ни парадоксально, в 60-х гг. XX в. редукционистский подход выглядел несостоятельным; квантовая теория поля безнадежно погрязла в расхождениях, обнаруженных в распространении возмущений. В условиях хаоса в квантовой физике одно из ее направлений, называемое теорией S-матрицы (матрицы

рассеивания), откололось от основного и начало развиваться. Его основал Гейзенберг и продолжил развивать Джеффри Чу из Калифорнийского университета в Беркли. В отличие от редукционизма теория S-матрицы рассматривала рассеянные частицы как неразделимое и несократимое целое.

В принципе, зная S-матрицу, мы знаем все о взаимодействиях и рассеянии частиц. При таком подходе главное — столкновения частиц друг с другом, а каждая отдельная частица не играет роли. Теория S-матрицы гласит, что самосогласованности и *только самосогласованности* матрицы рассеяния достаточно, чтобы определить S-матрицу. Таким образом, фундаментальные частицы и поля были навсегда изгнаны из райских кущей теории S-матрицы. В окончательном анализе физический смысл имеет лишь S-матрица.

В качестве аналогии представим, что вам подарили сложную машину странного вида и попросили объяснить, что она делает. Редукционист сразу же схватится за отвертку и примется разбирать машину. Разбирая ее на тысячи мельчайших деталей, он надеется выяснить, как она функционирует. Но, если машина устроена слишком сложно, демонтаж только осложнит положение.

Холист же не желает разбирать машину на части по нескольким причинам. Во-первых, изучение тысяч винтов и шестеренок может не дать ни малейшего представления о том, как работает вся машина. Во-вторых, попытки объяснить, как работает каждая крохотная шестеренка, — напрасный труд. Холисты считают, что правильнее изучать машину в целом. Они включают машину и смотрят, как двигаются и взаимодействуют друг с другом ее детали. Выражаясь современным языком, эта машина — S-матрица, а подход — теория S-матрицы.

Но в 1971 г. чаши весов заметно склонились в пользу редукционизма, когда Герард 'т Хоофт обнаружил, что поле Янга–Миллса может дать самосогласованную теорию субатомных сил. Внезапно прежние представления о взаимодействиях частиц рухнули, словно вековые деревья в лесу. Поле Янга–Миллса обеспечивало поразительное соответствие

экспериментальным данным, полученным в ускорителях частиц, и привело к созданию Стандартной модели, а теория S-матрицы постепенно погрязла в малопонятной математике. К концу 1970-х гг. редукционизм как будто одержал полную и необратимую победу над холизмом и теорией S-матрицы.

Но в 1980-е гг. расстановка сил опять изменилась. Когда теории Великого объединения не смогли проникнуть в суть гравитации или получить результаты, подтверждаемые экспериментально, физики приступили к поиску новых исследовательских направлений. Отход от теорий Великого объединения начался с новой теории, обязанной своим существованием теории S-матрицы.

В 1968 г., когда теория S-матрицы находилась в зените славы, глубокое влияние на Венециано и Судзуки оказал подход, связанный с определением S-матрицы во всей ее целостности. В поисках математического представления целой S-матрицы они наткнулись на бета-функцию Эйлера. Если бы они обратились к редукционистским диаграммам Фейнмана, то не сделали бы одного из величайших открытий последних нескольких десятилетий.

Двадцать лет спустя мы видим цветение проросшего семени теории S-матрицы. Теория Венециано–Судзуки дала рост теории струн, которая в свою очередь была повторно интерпретирована с помощью теории Калуцы–Клейна как десятимерная теория Вселенной.

Таким образом, мы видим, что десятимерная теория опирается на обе традиции. Она родилась как детище холистической теории S-матрицы, однако содержит редукционистские теории Янга–Миллса и кварков. В сущности, она достаточно созрела для того, чтобы впитать оба подхода.

Десять измерений и математика

Одна из самых удивительных особенностей теории суперструн состоит в том, на какой уровень взлетела математика.

Ни одна другая теория, известная науке, не пользуется такими эффективными математическими преобразованиями на столь фундаментальном уровне. Оглядываясь назад, мы понимаем, что это необходимо, так как любая объединенная теория поля сначала должна воспринять риманову геометрию теории Эйнштейна и группы Ли из квантовой теории поля, а затем применить еще более высокую математику, чтобы сделать их совместимыми. Эта новая математика, отвечающая за слияние двух теорий, — топология, на которую возложена ответственность за осуществление, казалось бы, невыполнимой задачи устранения бесконечностей из квантовой теории гравитации.

Неожиданное введение высшей математики в физику посредством теории струн застало многих физиков врасплох. Немало ученых тайно ходили в библиотеку, чтобы заглянуть в толстые тома математической литературы и разобраться в десятимерной теории. Физик из ЦЕРНа Джон Эллис признается: «Я сам не сразу заметил, что стал все чаще заглядывать в книжные магазины и выискивать математические энциклопедии, чтобы вызубрить все эти гомологии, гомотопии и прочую математику, в которой прежде не удосуживался разобраться!»⁶ Для тех, кого беспокоила неуклонно разрастающаяся брешь между математикой и физикой в нашем столетии, уже само это событие стало отрадным и исторически значимым.

Математика и физика традиционно неразделимы еще со времен древних греков. Ньютон и его современники никогда не проводили четкой границы между математикой и физикой, называли себя натурфилософами и чувствовали себя в своей стихии в отличающихся друг от друга мирах математики, физики и философии.

Гаусс, Риман и Пуанкаре отводили физике главное место как источнику новых математических методов. На протяжении XVIII–XIX вв. происходило интенсивное перекрестное опыление математики и физики. Но после Эйнштейна и Пуанкаре в развитии этих наук произошел крутой поворот. Последние 70 лет математики и физики почти не поддерживали связь друг с другом. Математики исследовали топологию

N -мерного пространства и развивали такие новые дисциплины, как алгебраическая топология. Продолжая работу Гаусса, Римана и Пуанкаре, математики прошлого века создали арсенал абстрактных теорем и следствий, не имеющих никакого отношения к слабому или сильному взаимодействию. Однако физики приступили к изучению силы ядерного взаимодействия, пользуясь трехмерной математикой, известной в XIX в.

Все изменилось с появлением десятого измерения. Внезапно весь арсенал, собранный математикой за прошедший век, пригодился в мире физики. Чрезвычайно эффективные математические теоремы, давно лелеемые только математиками, обрели физический смысл. Казалось, теперь наконец зияющая брешь между математикой и физикой будет закрыта. В сущности, даже математиков ошеломил приток новых математических методов, введенных теорией. Некоторые видные математики, например Изадор Зингер из Массачусетского технологического института, заявляли, что, возможно, теорию суперструн следует рассматривать как одно из направлений математики, независимо от его физической релевантности.

Никто не имеет ни малейшего представления, почему так тесно переплелись математика и физика. Физик Поль Дирак, один из основателей квантовой теории, утверждал, что «математика способна повести нас в направлении, которое мы не выбрали бы, если бы следовали только идеям физики»⁷.

Альфред Норт Уайтхед, один из величайших математиков прошлого века, однажды сказал, что на глубинном уровне математика неотделима от физики. Однако точная причина удивительного взаимопроникновения наук остается неясной. Никто не может предложить даже рациональной гипотезы, объясняющей, почему две дисциплины обмениваются концепциями.

Часто можно услышать, что «математика — язык физики». Так, Галилео Галилей однажды сказал: «Никто не сумеет прочесть великую книгу Вселенной, не понимая ее языка — языка математики»⁸. Однако вопрос о причинах остается открытым. Более того, для математиков, вероятно, оскорбительна мысль о том, что вся их наука сводится к семантике.

Отмечая взаимосвязь наук, Эйнштейн полагал, что математика в чистом виде может оказаться одним из средств разгадки тайн физики: «Я убежден, что чисто математические построения помогают нам открывать концепции и законы, связывающие их, и дают нам ключ к пониманию природы... Следовательно, в некотором смысле я считаю правильными представления древних о том, что чистая мысль может постичь реальность»⁹. Гейзенберг эхом повторял ту же мысль: «Если природа подводит нас к математическим формам удивительной простоты и красоты... с которыми никто прежде не сталкивался, невозможно не думать, что они “истинны”, что в них открываются подлинные свойства природы».

Лауреат Нобелевской премии Юджин Вигнер однажды даже написал очерк с откровенным заголовком «Необъяснимая эффективность математики в естественных науках» (Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences).

Физические принципы против логических структур

Много лет я убеждался в том, что математика и физика подчиняются определенной диалектике взаимоотношений. Физика — не просто бессмысленная, произвольная последовательность диаграмм Фейнмана и симметрий, а математика — не просто набор беспорядочных уравнений: скорее, физика и математика образуют симбиоз.

Я считаю, что физика в конечном счете опирается на небольшой набор *физических принципов*. В общем случае эти принципы можно выразить обычным языком, не обращаясь к математике. Основные физические принципы, начиная с теории Коперника и ньютоновских законов движения и вплоть до теории относительности Эйнштейна, можно изложить всего в нескольких предложениях, не прибегая к математике. Примечательно, что всего нескольких фундаментальных

физических принципов достаточно, чтобы обобщить основной объем современной физики.

В отличие от физики математика — набор всех возможных *самосогласованных структур*, причем логических структур существует гораздо больше, чем физических принципов. Отличительная особенность любой математической системы (арифметики, алгебры, геометрии) — то, что ее аксиомы и теоремы согласуются друг с другом. Математики следят главным образом за тем, чтобы эти системы ни в коем случае не вступали в противоречие, и в меньшей степени заинтересованы в обсуждении сравнительных преимуществ одной системы перед другой. Любая самосогласованная структура из множества достойна изучения. В итоге математика гораздо более фрагментирована, чем физика; математики, специализирующиеся в одной области, обычно работают обособленно от математиков, специализирующихся в другой.

Взаимоотношения между физикой (основанной на физических принципах) и математикой (основанной на самосогласованных структурах) теперь очевидны: для решения физического принципа физикам может потребоваться много самосогласованных структур. Таким образом, *физика автоматически объединяет многие обособленные направления математики*. Если рассматривать ситуацию в таком свете, можно понять, как развиваются значительные идеи в теоретической физике. К примеру, и математики, и физики утверждают, что Исаак Ньютон — один из титанов именно в той науке, которой занимаются и они. Однако Ньютон начал изучать гравитацию не с математики. Рассматривая движение падающих тел, он пришел к выводу, что Луна постоянно падает на Землю, но не сталкивается с ней, потому что Земля под ней искривлена; кривизна Земли компенсирует падение Луны. В результате он пришел к постулированию физического принципа — закону всемирного тяготения.

Но поскольку решить уравнения гравитации Ньютон затруднялся, он приступил к 30-летнему процессу создания с нуля математических методов, достаточно эффектив-

ных для решения этих уравнений. По ходу дела он обнаружил множество самосогласованных структур, получивших общее название «*исчисления*» (calculus). В этом случае физический принцип появился первым (закон гравитации), а затем были разработаны разнообразные самосогласованные структуры, необходимые для решения (такие как аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, производные и интегралы). Физический принцип объединил эти разнообразные самосогласованные структуры в связный математический корпус (calculus).

Те же соображения о взаимосвязи применимы к теории относительности Эйнштейна. Он начал с физических принципов (таких как постоянство скорости света и принцип эквивалентности для гравитации), а затем нашел в математической литературе самосогласованные структуры (группы Ли, риманов тензор, дифференциальную геометрию), благодаря которым вывел решение для этих принципов. Между делом Эйнштейн выяснил, как объединить отдельные направления математики в связную картину.

В теории струн прослеживается та же закономерность, но совершенно иным образом. Ввиду своей математической сложности теория струн связала заметно различающиеся ветви математики (поверхности Римана, алгебру Каца–Мури, супералгебры Ли, конечные группы, модулярные функции и алгебраическую топологию), удивив математиков. Как и в случае других физических теорий, она автоматически выявляет взаимосвязь между разными самосогласованными структурами. Но физический принцип, лежащий в основе теории струн, неизвестен. Физики надеются, что, как только этот принцип будет открыт, появятся и новые направления математики. Другими словами, причина, по которой теория струн до сих пор не имеет решения, заключается в том, что математику XXI в. еще не открыли.

Один из выводов, вытекающих из этой формулировки, состоит в том, что физический принцип, объединяющий много малых физических теорий, должен автоматически объединять

многие, на первый взгляд не связанные между собой направления математики. Именно эту задачу и выполняет теория струн. В сущности, из всех физических концепций теория струн объединяет наибольшее количество направлений математики в общую картину. Вероятно, одним из побочных продуктов стремления физиков к объединению станет объединение еще и математики.

Разумеется, набор логически согласованных математических структур во много раз больше набора физических принципов. Следовательно, некоторые математические структуры, такие как теория чисел (которую некоторые математики называют самым чистым направлением своей науки), так и не вошли ни в какую физическую теорию. Кое-кто утверждает, что положение таким и останется: скорее всего, человеческий разум навсегда сохранит способность изобретать логически согласующиеся структуры, которые нельзя выразить посредством физического принципа. Но, судя по некоторым признакам, теория струн вскоре может включить теорию чисел в свою структуру.

Наука и религия

Так как теория гиперпространства выявила новую, глубинную связь между физикой и абстрактной математикой, нашлись те, кто обвинил ученых в создании новой теологии на основе математики, т. е. в том, что мы отвергли религиозную мифологию, только чтобы принять еще более странную религию на основе искривленного пространства-времени, симметрии частиц и расширения космоса. Если священники читают молитвы на никому не понятной латыни, то физики бормочут заумные уравнения суперструн, которых почти никто не понимает. Вера во всемогущего Бога сменилась верой в квантовую теорию и общую теорию относительности. Когда ученые выражают, что их математические «песнопения» можно проверить в лаборатории, то слышат в ответ, что измерить в лабо-

ратории сотворение нельзя, следовательно, такие абстракции, как теория суперструн, никогда не удастся проверить.

Эти споры — далеко не новое явление. Ученых испокон веков приглашали на дискуссии с богословами о законах природы. К примеру, в XIX в. выдающийся британский биолог Томас Гексли одним из первых начал защищать от нападок церкви дарвиновскую теорию естественного отбора. Специалисты по квантовой физике, участвовавшие в одной радиопередаче вместе с представителями католической церкви, спорили о том, действительно ли принцип неопределенности Гейзенберга отвергает свободу воли — от этого вопроса зависит, попадают ли наши души в ад или в рай.

Но, как правило, ученые нехотя вступают в богословские диспуты о Боге и сотворении. Как я понимаю, проблема в том, что в слово «Бог» люди вкладывают различный смысл, а использование слов, исполненных невысказанного, скрытого символизма, только затуманивает проблему. Оказалось, что, для того чтобы хоть как-нибудь прояснить ее, полезно четко разграничивать два типа значений слова «Бог». Иногда полезно различать Бога чудес и Бога порядка.

Когда словом «Бог» пользуются ученые, обычно они подразумевают Бога порядка. К примеру, одним из самых важных откровений в раннем детстве Эйнштейна стал момент, когда он прочитал свои первые книги о науке. Он сразу понял: почти все, чему его учили о религии, не может быть правдой. Но на протяжении всей своей карьеры он упрямо продолжал верить, что во Вселенной существует таинственный божественный порядок. Его призвание, как говорил Эйнштейн, — разузнать помыслы Бога, понять, был ли у него выбор при сотворении Вселенной. В своих записях Эйнштейн неоднократно обращался к этому Богу, ласково называя его Стариком. Наткнувшись на неподатливую математическую задачу, Эйнштейн повторял: «Бог искушен, но не злонамерен». Можно с уверенностью утверждать, что большинство ученых верит в существование некой формы космического порядка во Вселенной. Но для человека, не принадлежащего к кругу

ученых, слово «Бог» почти наверняка означает Бога чудес, в этом и заключается причина непонимания между учеными и обывателями. Бог чудес вмешивается в наши дела, творит чудеса, разрушает города грешников, громит армии врагов, топтит войска фараона, мстит чистым и достойным.

Если ученые и обыватели не в состоянии прийти к взаимопониманию по религиозным вопросам, то потому, что до них не доходит смысл слов друг друга, ведь они имеют в виду совершенно разных богов. Все дело в том, что наука опирается на фундамент наблюдений за повторяющимися событиями, а чудеса, по определению, не повторяются. Они случаются только раз, если случаются вообще. Следовательно, Бог чудес в некотором смысле находится за пределами известной нам науки. Это не значит, что чудес не бывает, просто они не входят в область, которую принято называть *наукой*.

Биолог Эдвард Уилсон из Гарвардского университета задумался над этой проблемой и задался вопросом: есть ли какие-нибудь научные причины, по которым люди так упорно цепляются за религию? Он обнаружил, что даже квалифицированные ученые, обычно демонстрирующие безупречный рационализм в своих научных гипотезах, приводят иррациональные доводы, защищая свою религию. Более того, Уилсон замечает, что под прикрытием религии с давних пор велись войны, совершались зверства, жертвами которых становились неверные и язычники. Своей жесточенностью религиозные или священные войны соперничают с худшими преступлениями, которые люди совершали против себе подобных.

Религия, отмечает Уилсон, присутствует во всех изученных культурах человека, обнаруженных на Земле. Антропологи выяснили, что у всех первобытных племен есть миф об истоках, объясняющий, откуда взялись люди. Более того, мифология проводит четкую границу, отделяющую «нас» от «них», обеспечивает связующую (и зачастую иррациональную) силу, сохраняющую племя, подавляет критику в адрес вождя, которая сеет рознь.

В обществе людей это не отклонение, а норма. Религия, рассуждает Уилсон, настолько распространена по той при-

чине, что она давала явное эволюционное преимущество тем людям, которые приняли ее в древности. Уилсон добавляет, что животные, которые охотятся стаями, подчиняются вожаку ввиду установленной иерархии, основа которой — сила и доминирование. Но приблизительно миллион лет назад, когда наши обезьяноподобные предки постепенно становились все более разумными, среди них могли найтись желающие оспорить власть вожака. Интеллекту свойственно ставить авторитеты под сомнение, следовательно, он может стать опасной разобщающей силой в племени. В случае отсутствия силы, способной противостоять этому распространяющемуся хаосу, разумные представители племени покинули бы его, племя распалось бы и все его представители в конце концов погибли. По мнению Уилсона, давление отбора, действующее на разумных приматов, побуждало их не прислушиваться к голосу разума, а слепо повиноваться вожаку и его мифам, так как иное поведение бросало вызов сплоченности племени. Благоприятным для выживания оказывалось умение рационально мыслить, когда дело касалось орудий труда и сбора пищи, а также умение отмахиваться от мыслей, когда они угрожали целостности племени. Для того чтобы племя определилось и сохранилось, требовалась мифология.

По мнению Уилсона, религия представляла собой чрезвычайно мощную спасительную силу для приматов, интеллект которых постепенно развивался, и служила «связующим веществом», которое не давало племени распасться. Если он прав, тогда эта теория объясняет, почему столько религий ставят «веру» выше здравого смысла, а пастве советуют не рассуждать, а верить. Это помогает объяснить и нечеловеческую жестокость людей в религиозных войнах, и почему Бог чудес в кровопролитных войнах неизменно встает на сторону победителя. У Бога чудес есть одно огромное преимущество перед Богом порядка. Бог чудес объясняет мифологию нашим предназначением во Вселенной; Бог порядка не дает ответа на этот вопрос.

Наша роль в природе

Бог порядка не может дать человечеству общую судьбу или предназначение, однако лично меня в этой дискуссии особенно поражает то, что мы, люди, едва начавшие свое восхождение к технологическим высотам, способны делать смелые заявления, касающиеся происхождения и судьбы Вселенной.

С точки зрения технологии мы только начинаем преодолевать поле притяжения Земли, только начали отправлять первые примитивные зонды к далеким планетам. Но будучи узниками нашей маленькой планеты, имея в распоряжении только свой разум и немногочисленные инструменты и приборы, мы сумели расшифровать законы, которые управляют материей на расстоянии миллиардов световых лет. Располагая бесконечно малыми ресурсами, не имея возможности даже покинуть Солнечную систему, мы смогли определить, что происходит глубоко в пылающих ядерных топках звезд и внутри самого ядра.

С точки зрения эволюции мы — разумные приматы, которые лишь недавно спустились с деревьев, мы живем на третьей планете от мизерной звезды, в малом спиральном рукаве незначительной галактики, в небольшой группе галактик вблизи сверхскопления Девы. Если теория расширения верна, тогда вся наша видимая Вселенная — не что иное, как бесконечно маленький пузырек в необъятном космосе. Поскольку во Вселенной мы не играем почти никакой роли, удивительно, что мы способны утверждать, будто бы открыли теорию всего.

Нобелевского лауреата Исидора Раби однажды спросили, какое событие в его жизни предопределило его путь к открытию тайн природы. Он ответил, что это событие произошло, когда он листал взятые им в библиотеке книги о планетах. Его поразила способность человеческого разума познавать истинны космических масштабов. Планеты и звезды гораздо больше Земли, находятся гораздо дальше, чем любые места, где побывал человек, а разум в состоянии постичь их.

Физик Хайнц Пейджелс вспоминает, что поворотным моментом для него стало в детстве посещение планетария Хайден в Нью-Йорке:

Драматизм и мощь динамической Вселенной ошеломили меня. Я узнал, что количество звезд в единственной галактике превышает численность всего человечества, которое когда-либо существовало на Земле... Масштабы и продолжительность жизни Вселенной вызвали нечто вроде «экзистенциального шока», пошатнули основы моего бытия. Все мои прежние впечатления и знания выглядели ничтожными по сравнению с этим безбрежным океаном существования¹⁰.

Я считаю, что не потрясение от величия Вселенной может быть самым глубоким переживанием для ученого, а близкое к религиозному озарению осознание того, что мы — дети звезд и наш разум способен постичь вселенские законы, которыми они повинуются. Атомы нашего организма были выкованы на наковальне нуклеосинтеза внутри взорвавшейся звезды за бесконечно долгое время до рождения Солнечной системы. Наши атомы старше, чем горы. Мы в буквальном смысле слова сотворены из звездной пыли. И эти атомы, слившись, превратились в разумные существа, способные понимать законы, управляющие Вселенной.

Меня завораживает то, что законы физики, открытые нами на крошечной, незначительной планете, точно такие же, как законы повсюду во Вселенной, а мы открыли их, не покидая Землю. Не имея в своем распоряжении ни могучих космических кораблей, ни пространственных «окон», мы определили химический состав звезд и расшифровали ядерные процессы, проходящие глубоко внутри этих звезд.

И наконец, если десятимерная теория суперструн верна, тогда цивилизация, развивающаяся на самой далекой звезде, откроет для себя те же самые истины о нашей Вселенной. И тоже будет удивляться взаимосвязи «дерева» и «мрамора», и придет к выводу, что традиционный трехмерный мир «слиш-

ком тесен», чтобы вместить все известные взаимодействия мира.

Наша любознательность — неотъемлемая часть естественного порядка. Вероятно, нам, людям, хочется постигать Вселенную так же, как птице хочется петь. Великий астроном XVII в. Иоганн Кеплер однажды сказал: «Мы не спрашиваем, какую пользу приносит пение птиц, так как они поют ради удовольствия, потому что созданы для пения. Точно так же нам не следует спрашивать, почему человеческий разум утруждает себя, вникая в тайны небес». Как сказал биолог Томас Гексли в 1864 г., «вопрос всех вопросов для человечества, проблема, лежащая в основании всех прочих и более интересная, чем какой-либо другой из них, — определение места человека в Природе и его взаимосвязь с Космосом».

Космолог Стивен Хокинг, рассуждая о решении задачи объединения в нынешнем веке, красноречиво высказался о необходимости объяснить максимально широкой аудитории сущность общей физической картины, на которую опирается физика:

Если мы действительно откроем полную теорию, то со временем ее основные принципы станут доступны пониманию каждого, а не только некоторых специалистов. И тогда все мы, философы, ученые и просто обычные люди, сможем принять участие в дискуссии о том, почему так произошло, что существуем мы и существует Вселенная. Если найдется ответ на такой вопрос, он будет полным триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятен замысел Бога*.

В космических масштабах мы еще только начинаем осознавать большой мир, который нас окружает. Однако сила нашего ограниченного интеллекта такова, что даже самые сокровенные тайны природы доступны нашим теоретическим рассуждениям.

* Пер. Н. Смородинской. — Прим. пер.

Придает ли это смысл жизни, служит ли ее целью?

Кто-то видит смысл жизни в личных достижениях, взаимоотношениях и впечатлениях. А мне жизнь кажется осмысленной уже потому, что мы одарены интеллектом, позволяющим интуитивно постигать величайшие тайны природы.

Примечания

Предисловие

1. Это настолько новый предмет*, что для него еще не существует общепринятого термина, которым пользовались бы физики-теоретики, ссылаясь на теории высших измерений. Строго говоря, когда физики ведут речь об этой теории, они ссылаются на конкретную теорию — Калуцы–Клейна, супергравитации, суперструн, хотя термин «гиперпространство» обычно применяется, когда имеются в виду высшие измерения, а «гипер» — корректная научная приставка для геометрических объектов, относящихся к миру высших измерений. В соответствии с распространенной практикой я пользуюсь термином «гиперпространство», говоря о высших измерениях.

Глава 1

1. Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 324.
2. Питер Фройнд, в интервью с автором, 1990 г.
3. Цитировано в: Абрахам Пайс. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна* (Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford: Oxford University Press, 1982), с. 235.

* На момент первого издания книги — 1994 г. — *Прим. пер.*

4. Это невероятно малое расстояние еще не раз появится здесь, в книге. Оно представляет собой основной масштаб расстояний, характеризующий любую квантовую теорию гравитации. Причина этого явления довольно проста. В любой теории гравитации сила гравитационного взаимодействия измеряется с помощью гравитационной постоянной (постоянной Ньютона). Но физики пользуются упрощенной системой единиц, в которой скорость света принята равной единице. Это означает, что 1 секунда эквивалентна 186 000 миль (297 600 км). Кроме того, постоянная Планка, деленная на 2π , также принята равной единице; таким образом, задаются численные соотношения между секундами и эргами энергии. В этих странах, но удобных единицах все вплоть до постоянной Ньютона можно свести к сантиметрам. Если же вычислить длину, ассоциирующуюся с постоянной Ньютона, мы получим планковскую длину, или 10^{-33} см, или 10^{19} млрд эВ. Таким образом, все квантовые гравитационные эффекты определяются в сравнении с этим малым расстоянием. В частности, размер незримых высших измерений — планковская длина.
5. Линда Далримпл Хендерсон «Четвертое измерение и неевклидова геометрия в современном искусстве» (Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), с. xix.

Глава 2

1. Э. Т. Белл «Математики» (E. T. Bell, *Men of Mathematics*, New York: Simon and Schuster, 1937), с. 484.
2. Там же, с. 487. Скорее всего, именно этот случай пробудил ранний интерес Римана к теории чисел. Много лет спустя он высказал знаменитое предположение касательно содержащей дзета-функцию формулы в теории чисел. За сто лет безуспешных сражений с «римановой гипотезой» величайшие математики мира так и не сумели дока-

зять ее. Даже самые современные компьютеры не справились с этой задачей, и гипотеза Римана вошла в историю как одна из самых известных недоказанных теорем в теории чисел — вероятно, самая знаменитая в математике. Белл отмечает: «Тот, кто докажет или опровергнет ее, несомненно, прославится» (там же, с. 488).

3. Джон Валлис (Уоллис), *Der Barycentrische Calcul*, Leipzig, 1827, p. 184.
4. Хотя Риману обычно приписывают роль движущей творческой силы, в конце концов сокрушившей рамки евклидовой геометрии, по праву человеком, который открыл геометрию высших измерений, должен был стать престарелый наставник Римана, сам Гаусс.

В 1817 г., почти за десять лет до рождения Римана, Гаусс выразил свое глубокое недовольство евклидовой геометрией. В пророческом письме к другу, астроному Генриху Ольберсу, он недвусмысленно заявил, что евклидова геометрия математически несовершенна.

В 1869 г. математик Джеймс Дж. Сильвестр писал, что Гаусс всерьез обдумывал возможность существования многомерных пространств. Гаусс представлял себе свойства существ, названных им «книжными червями», способных жить на двумерных листах бумаги. Затем он распространил свои выводы на «существ, способных представить себе пространство с четырьмя и более измерениями» (процитировано в: Линда Далримпл Хендерсон «Четыре измерения и неевклидова геометрия в современном искусстве» (Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), с. 19).

Но если Гаусс сформулировал теорию многомерности, на 40 лет опередив всех, тогда почему же он упустил поистине историческую возможность избавиться от уз трехмерной евклидовой геометрии? Историки отмечают присущую Гауссу консервативность в работе, общественной и личной жизни. Он никогда не покидал пределов Герма-

нии и почти всю жизнь провел в одном городе. Это обстоятельство отразилось на его профессиональной деятельности.

В примечательном письме, написанном в 1829 г., Гаусс признавался своему другу Фридриху Бесселю, что никогда не опубликует свою работу, посвященную неевклидовой геометрии, из опасения, что она вызовет споры в кругах «беотийцев». Математик Морис Клайн писал: «Он [Гаусс] заявлял в письме к Бесселю от 27 января 1829 г., что, вероятно, никогда не опубликует результаты своих исследований этого предмета, поскольку опасается насмешек или, как выразился сам Гаусс, боится навлечь недовольство “беотийцев”, образно названных в память о недалеком греческом народе» («Математика и физический мир» (Mathematics and the Physical World, New York: Crowell, 1959, p. 449)). Гаусс так робел перед старой гвардией, узколобыми «беотийцами», свято верившими в три измерения, что предпочел сохранить в тайне лучший из своих трудов.

В 1869 г. Сильвестр в интервью с биографом Гаусса Сарториусом фон Вальтерсхаузенем писал: «Этот великий человек говорил, что отложил в сторону несколько вопросов, которые анализировал, и надеялся применить к ним геометрические методы, когда его представления о пространстве станут полнее; ибо если мы можем вообразить себе существа (подобные бесконечно плоским «книжным червям» на бесконечно тонком листе бумаги), которым известно лишь двумерное пространство, нам под силу представить себе и существа, способные оперировать четырьмя и более измерениями» (процитировано в: Хендерсон «Четыре измерения и неевклидова геометрия в современном искусстве», с. 19).

Гаусс писал Ольберсу: «Я все больше убеждаюсь, что (физическую) неизбежность нашей (евклидовой) геометрии невозможно доказать, по крайней мере средствами человеческого разума и доступно для понимания челове-

ческим разумом. Возможно, в другой жизни мы сумеем получить представление о природе пространства, которое сейчас остается для нас недостижимым. А до тех пор нам следует ставить геометрию в один ряд не с арифметикой, как это делается априори, а с механикой» (процитировано в: Морис Клайн «Математическая мысль от древности до наших дней» (Morris Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, New York: Oxford University Press, 1972), с. 872).

Гаусс относился к евклидовой геометрии с таким подозрением, что даже провел оригинальный эксперимент, чтобы проверить ее. Вместе с помощниками он поднялся на три горных вершины — Брокен, Хохехаген и Инзельсберг. С каждой из них были отчетливо видны две другие вершины. Построив между вершинами треугольник, Гаусс смог экспериментальным путем измерить его внутренние углы. Если евклидова геометрия верна, тогда сумма этих углов должна составлять 180° . К своему разочарованию, Гаусс обнаружил, что сумма углов действительно равна 180° (плюс-минус 15 минут). Примитивность измерительного оборудования не дала ему убедительно доказать, что Евклид заблуждался. (Сегодня нам известно, что этот эксперимент следовало проводить между тремя разными звездными системами, чтобы выявить значимые отклонения от евклидова результата.)

Следует также указать, что математики Николай Иванович Лобачевский и Янош Бойяи независимо друг от друга открыли неевклидову математику для изогнутых поверхностей. Но их построения ограничивались обычными низшими измерениями.

5. Процитировано в: Белл «Математики», с. 497.
6. Британский математик Уильям Клиффорд, который переводил знаменитую речь Римана для журнала *Nature* в 1873 г., разъяснил многие основополагающие труды Римана и был, вероятно, первым, кто развил его мысль о том, что искривление пространства вызывает возник-

новение электромагнитного взаимодействия, придав тем самым идеям Римана более четкую форму. Клиффорд высказал предположение, что эти два таинственных открытия в математике (многомерные пространства) и физике (электричество и магнетизм) — в сущности, одно и то же и что электромагнитное взаимодействие вызвано искривлением многомерного пространства.

Так впервые за 50 лет до Эйнштейна была высказана догадка о том, что сила — не что иное, как искривление самого пространства. Предположение Клиффорда о том, что электромагнетизм вызывают колебания в четвертом измерении, предшествовало работе Теодора Калуцы, который также пытался объяснить электромагнетизм высшими измерениями. Таким образом, Клиффорд и Риман предвосхитили открытия ученых XX в., догадавшись, что многомерное пространство способно дать простое и элегантное описание взаимодействий. Впервые было верно оценено истинное физическое значение высших измерений — как теории *пространства*, дающей нам объединяющую картину *взаимодействий*.

Эти пророческие взгляды были изложены математиком Джеймсом Сильвестром, который в 1869 г. писал: «Мистер Клиффорд позволил себе высказать примечательные предположения касательно способности человека на основании некоторых необъясненных явлений света и магнетизма сделать вывод о том, что наше трехмерное пространство подвергается воздействию пространства четырех измерений... аналогично бумаге, которую комкают» (протитировано в: Хендерсон «Четвертое измерение и неевклидова геометрии в современном искусстве», с. 19).

В 1870 г. в статье с интригующим названием «О пространственной теории вещества» Клиффорд напрямую пишет, что «эта разновидность искривления пространства — то, что в действительности происходит при явлении, которое мы называем *движением материи*, будь она осязаемой или неосязаемой». (Клиффорд Уильям «О про-

странственной теории вещества» (William Clifford, On the Space-Theory of Matter, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 2, 1876: 157–158).

7. А точнее, в условиях N измерений риманов метрический тензор $g_{\mu\nu}$ представляет собой матрицу $N \times N$, определяющую расстояние между двумя точками, так что бесконечно малое расстояние между двумя точками дается выражением $ds^2 = \sum dx^\mu g_{\mu\nu} dx^\nu$. В ограниченном плоском пространстве риманов метрический тензор становится диагональным, т. е. $g_{\mu\nu} = \delta_{\mu\nu}$, в итоге все формулы сводятся к теореме Пифагора для N измерений. Отклонение метрического тензора от $\delta_{\mu\nu}$, грубо говоря, показывает, насколько пространство отличается от плоского. На основании метрического тензора можно построить риманов тензор кривизны, представленный $R^\beta_{\mu\nu\alpha}$.

Искривление пространства в любой данной точке можно измерить, нарисовав в этой точке окружность и измерив ее площадь. В плоском двумерном пространстве площадь круга равна πr^2 . Но в условиях положительной кривизны, например, на сферической поверхности, эта площадь меньше πr^2 . А если кривизна отрицательная и поверхность седлообразная или воронкообразная, площадь круга больше πr^2 .

Строго говоря, принято считать, что кривизна скомканного листа бумаги равна нулю. Дело в том, что площади кругов, нарисованных на этой скомканной бумаге, по-прежнему равны πr^2 . В римановом примере взаимодействия, созданного смятым листом бумаги, мы косвенным образом подразумеваем, что бумага деформирована, растянута и сложена, поэтому кривизна отлична от нуля.

8. Цитировано в: Белл «Математики», с. 501.
 9. Там же, с. 14.
 10. Там же.
 11. В 1917 г. друг Эйнштейна физик Пауль Эренфест, опубликовал статью под заголовком «Каким образом в фундаментальных законах физики проявляется трехмерность про-

странства?». Эренфест задался вопросом, возможны ли звезды и планеты в высших измерениях. Например, свет свечи тускнеет по мере нашего удаления от нее. Так и гравитационное притяжение звезды по мере удаления от нее слабеет. Согласно Ньютону сила гравитации уменьшается по закону обратных квадратов. Если наше расстояние от свечи или звезды увеличивается в два раза, свет или гравитационное притяжение становится в четыре раза слабее. Если расстояние увеличивается втрое, они слабее в девять раз.

Если пространство четырехмерное, тогда свет свечи и гравитация должны ослабевать гораздо быстрее по обратному кубическому закону. Удвоение расстояния от свечи или звезды ослабит свет или гравитацию в восемь раз.

Может ли Солнечная система существовать в таком четырехмерном мире? В принципе, может, но орбиты планет вряд ли будут стабильными. Малейшей вибрации хватит, чтобы изменить их. Со временем все планеты отклонятся от своих орбит и врежутся в Солнце.

Но и Солнце не сможет существовать в мире высших измерений. Сила гравитации стремится сжать Солнце, ее уравновешивает сила термоядерных реакций, которая стремится разорвать его. Таким образом, Солнце — результат точного равновесия сил ядерного взаимодействия, способных взорвать его, и сил гравитационного взаимодействия, способных сжать его в точку. В многомерной Вселенной это шаткое равновесие неизбежно нарушится, что приведет к спонтанному схлопыванию звезд.

12. Хендерсон «Четыре измерения и неевклидова геометрия в современном искусстве», с. 22.
13. Цёлльнер обратился в спиритуализм в 1875 г., когда побывал в лаборатории Крукса — первооткрывателя элемента таллия, изобретателя катодно-лучевой трубки, редактора научного журнала *Quarterly Journal of Science*. Катодно-лучевая трубка Крукса произвела революцию в науке: каждый, кто смотрит телевизор, пользуется компьютерным монитором, играет в видеоигры или проходит рент-

геновское обследование, обязан всему этому знаменитому изобретению Крукса.

Крукс не был сумасбродом. Он занимал видное положение в британском научном сообществе, его профессиональных наград хватило бы на украшение целой стены. В 1897 г. его посвятили в рыцари, в 1910 г. удостоили ордена «За заслуги». Живой интерес к спиритуализму пробудила в нем трагическая смерть брата Филипа, в 1867 г. умершего от желтой лихорадки. Крукс стал видным членом, а позднее и президентом Общества паранормальных (психических) исследований, в которое входили многие выдающиеся ученые конца XIX в.

14. Процитировано в: Руди Рукер «Четвертое измерение» (Rudy Rucker, *The Fourth Dimension*, Boston: Houghton Mifflin, 1984), с. 54.
15. Для того чтобы представить себе, как можно распутать узлы в измерениях, числом превышающих три, вообразим себе два сцепленных кольца. Теперь сделаем двумерный поперечный разрез этой конструкции таким образом, чтобы одно кольцо лежало в плоскости разреза, а второе превратилось в точку (поскольку оно лежит перпендикулярно этой плоскости). Мы получили точку внутри окружности. В высших измерениях мы имеем возможность вывести эту точку за пределы окружности, не разрезая ни одно из колец. Это означает, что два кольца теперь разделены, что нам и требовалось. Значит, узлы в условиях многомерности всегда можно развязать, потому что для этого «достаточно места». Обратите также внимание: вывести точку за пределы окружности в трехмерном пространстве невозможно, по той же причине в мире трех измерений узлы остаются завязанными.

Глава 3

1. А. Т. Скофилд писал: «Следовательно, мы приходим к выводу, что, во-первых, мир, превосходящий наш, не просто возможен, но и вероятен; во-вторых, что такой мир может считаться четырехмерным; и в-третьих, что духов-

ный мир согласуется в своих мистических законах... с тем, что по аналогии можно назвать законами, языком и приращениями четвертого измерения» (процитировано в: Руди Рукер «Четвертое измерение», с. 56).

2. Артур Уиллинг писал: «После того как мы признаем существование четырехмерного пространства, не понадобится значительных усилий для того, чтобы признать существование пятимерного пространства и т. д., вплоть до пространства с бесконечным количеством измерений» (процитировано там же, с. 200).
3. Герберт Уэллс «Машина времени» (H. G. Wells, *The Time Machine: An Invention*, London: Heinemann, 1895), с. 3.
4. Линда Далримпл Хендерсон «Четвертое измерение и неевклидова геометрия в современном искусстве» (Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), с. xxi.
5. Там же. Согласно Хендерсон, «четвертое измерение привлекало внимание таких видных представителей мира литературы, как Герберт Уэллс, Оскар Уайльд, Джозеф Конрад, Форд Мэддокс Форд, Марсель Пруст и Гертруда Стайн. Из музыкантов четвертым измерением живо интересовались Александр Скрябин, Эдгар Варез, Джордж Антейл, оно вдохновляло их поиски новых форм во имя высшей реальности» (там же, с. xix–xx).
6. Работа Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» сегодня имеет большое значение по той причине, что она оставила заметный след в современной советской и восточноевропейской науке. К примеру, известное высказывание Ленина о «неисчерпаемости электрона» отражало диалектическую идею, согласно которой мы найдем новые уровни и противоречия при любой попытке проникнуть в суть материи. Так, галактики состоят из меньших по размеру звездных систем, которые в свою очередь содержат планеты, состоящие из молекул, которые состоят из атомов, содержащих электроны, а те, в свою очередь,

«неисчерпаемы». Это один из вариантов теории «миров, заключенных в других мирах».

7. Владимир Ленин. Материализм и эмпириокритицизм // Карл Маркс, Фридрих Энгельс и Владимир Ленин. О диалектическом материализме. — М.: Прогресс, 1977. — С. 305–306.
8. Там же.
9. Цитировано в: Рукер «Четвертое измерение», с. 64.
10. Представим себе, что некий флатландец построил конструкцию из шести смежных квадратов, образующих подобие креста. С точки зрения флатландца, квадраты жестко соединены между собой. Из нельзя повернуть или иначе переместить относительно соединенных сторон. А теперь представим, что мы взяли эту конструкцию и решили отогнуть некоторые квадраты, чтобы образовался куб. Стыки между квадратами, жесткие в двумерном пространстве, в мире трех измерений легко поддаются, превращаясь в сгибы. Сложить куб настолько просто, что флатландец даже не заметит этого.

Но если флатландец очутится внутри куба, он обратит внимание на неожиданное явление. Каждый квадрат ведет в другой квадрат. «Внешней стороны» у куба нет. Всякий раз, когда флатландец переходит из одного квадрата в другой, он плавно, даже не замечая этого, сгибается под углом 90° в третьем измерении и попадает в следующий квадрат. Снаружи этот дом выглядит как самый обычный квадрат, но тот, кто войдет в него, обнаружит беспорядочное нагромождение квадратов, каждый из которых немислимим образом ведет в следующий. Вошедшему покажется невероятным то, что этот единственный квадрат способен вместить шесть других квадратов.

Глава 4

1. Якоб Броновски «Восхождение человека» (Jacob Bronowski, *The Ascent of Man*, Boston: Little, Brown, 1974), с. 247.
2. Цитировано в: Абрахам Пайс «Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна» (Abraham Pais, *Subtle Is*

the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein, Oxford: Oxford University Press, 1982), с. 131.

3. Как правило, нелепо полагать, что из двух человек каждый может быть выше другого. Но в данной ситуации мы видим двух людей, каждый из которых прав, считая второго подвергшимся сжатию. На самом деле противоречия тут нет, так как речь идет о *времени*, в ходе которого производится измерение, а время, как и пространство, в данном случае искажено. В частности, события, которые выглядят одновременными в одной системе отсчета, не являются одновременными, если рассматривать их в другой системе отсчета.

К примеру, допустим, что люди на платформе достают линейку и, пока поезд проезжает мимо, роняют ее на платформу. Пока движется поезд, они бросают линейку так, чтобы оба ее конца ударились о платформу одновременно. Таким образом они могут доказать, что вся длина сжатого поезда от переднего до заднего вагона составляет всего один фут (30 см).

А теперь рассмотрим тот же процесс измерения с точки зрения пассажиров, находящихся в этом поезде. Они считают, что пребывают в состоянии покоя, и видят, как к ним приближается сжатая станция подземки, на платформу которой сжатый человек собирается уронить сжатую линейку. Поначалу не верится, что такой короткой линейкой можно измерить длину целого поезда. Но при падении линейки ее концы достигают земли *не* одновременно. Один конец линейки касается ее как раз в тот момент, когда станция оказывается у переднего края поезда. И только когда станция движется мимо всего поезда, второй конец линейки наконец ударяется оземь. Таким образом, одной и той же линейкой измеряется длина всего поезда и в той, и в другой системе отсчета.

Суть этого и многих других «парадоксов» теории относительности в том, что измерительный процесс занимает некоторое время, а пространство и время искажаются по-разному в разных системах отсчета.

4. Уравнения Максвелла выглядят так (мы принимаем $c = 1$):

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho \\ \nabla \times \mathbf{B} - \partial \mathbf{E} / \partial t &= \mathbf{j} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B} / \partial t &= 0\end{aligned}$$

Вторая и последняя строчка — векторные уравнения, представляющие три уравнения каждое. Следовательно, всего уравнений Максвелла восемь.

Можно переписать их в релятивистской форме. Если ввести тензор Максвелла $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$, тогда уравнения сведутся к единственному:

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = j^\nu.$$

Это и есть релятивистский вариант уравнений Максвелла.

5. Цитировано в: Абрахам Пайс «Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна», с. 239.
6. Там же, с. 179.
7. Уравнения Эйнштейна выглядят так:

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R = -8\pi/c^2 \times GT_{\mu\nu},$$

где $T_{\mu\nu}$ — тензор энергии-импульса, измеряющий содержание материи-энергии, а $R_{\mu\nu}$ — свернутый риманов тензор кривизны. Согласно этому уравнению, тензор энергии-импульса определяет степень кривизны, присутствующей в гиперпространстве.

8. Цитировано в: Абрахам Пайс «Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна», с. 212.
9. Цитировано в: Коул «Ответные вибрации: Размышления о физике как образе жизни» (K. C. Cole, Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life, New York: Bantam, 1985), с. 29.
10. Гиперсферу можно определить во многом тем же способом, как окружность или сферу. Окружность — это совокупность точек, удовлетворяющих уравнению $x^2 + y^2 = r^2$

в плоскости $x-y$. Сфера — совокупность точек, удовлетворяющих уравнению $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ в пространстве $x-y-z$. Четырёхмерная гиперсфера определяется как совокупность точек, удовлетворяющих уравнению $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = r^2$ в пространстве $x-y-z-u$. Тот же подход можно легко применить к N -мерному пространству.

11. Цитировано в: Абдус Салам «Обзор физики частиц» см.: «Новая физика», под ред. Пола Дэвиса (Paul Davies, ed., The New Physics, Cambridge, Cambridge University Press, 1989). С. 487.
12. Теодор Калуца «О проблеме объединения в физике» (Theodor Kaluza, Zum Unitatsproblem der Physik, Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften 96, 1921), с. 69.
13. В 1914 г., еще до того, как Эйнштейн выдвинул общую теорию относительности, физик Гуннар Нордстрём пытался объединить электромагнетизм с гравитацией, обращаясь к пятимерной теории Максвелла. При изучении теории Нордстрёма выясняется, что она правомерно содержит максвелловскую теорию света в четырех измерениях и вместе с тем скалярную теорию гравитации, ошибочность которой известна. В итоге идеи Нордстрёма оказались в целом забытыми. В некотором смысле его публикация была преждевременной. Он написал статью за один год до обнародования теории гравитации Эйнштейна, поэтому никак не мог записать пятимерную теорию гравитации по примеру Эйнштейна.

В отличие от теории Нордстрёма теория Калуцы началась с метрического тензора $g_{\mu\nu}$, определенного в пятимерном пространстве. Затем Калуца отождествил $g_{\mu 5}$ с максвелловским тензором A_μ . Прежний четырехмерный метрический тензор Эйнштейна отождествлялся при этом с новым метрическим тензором Калуцы, но только при μ и ν , не равных пяти. Таким простым и элегантным способом поле Эйнштейна и поле Максвелла было помещено в пятимерный метрический тензор Калуцы.

Кроме того, пятимерные теории выдвинули, по-видимому, Генрих Мандель и Густав Ми. Таким образом, высшие измерения занимали заметное место в популярной культуре, что, вероятно, и способствовало перекрестному опылению ими мира физики. В этом смысле труд Римана описал полный круг и вернулся в исходную точку.

14. Питер Фройнд, в беседе с автором, 1990 г.
15. Там же.

Глава 5

1. Процитировано в: Коул «Ответные вибрации: Размышления о физике как образе жизни» (K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, New York: Bantam, 1985), с. 204.
2. Процитировано в: Найджел Колдер, «Ключ к Вселенной (Nigel Calder, *The Key to the Universe*, New York: Penguin, 1977), с. 69.
3. Процитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение» (R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation*, New York: Macmillan, 1986), с. 326.
4. Там же, с. 293.
5. Уильям Блейк «Тигр, о тигр, светло горящий из «Песен Невинности и Опыта» (Poems of William Blake, ed. W. V. Yeats, London: Routledge, 1905).
6. Процитировано в: Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 177.
7. Процитировано в: Коул «Ответные вибрации», с. 229.
8. Процитировано в: Джон Гриббен «В поисках кота Шрёдингера» (John Gribben, *In Search of Schrodinger's Cat*, New York: Bantam, 1984), с. 79.

Глава 6

1. Процитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение» (R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation*, New York: Macmillan, 1986), с. 411.

2. Прочитировано в: Найджел Колдер «Ключ к Вселенной» (Nigel Calder, *The Key to the Universe*, New York: Penguin, 1977), с. 15.
3. Прочитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение», с. 418.
4. Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 327.
5. Прочитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение», с. 417.
6. Питер ван Ньювенхейзен «Супергравитация». См.: «Суперсимметрии и супергравитации», под ред. Якоба (M. Jacob, *Supersymmetry and Supergravity*, Amsterdam: North Holland, 1986), с. 794.
7. Прочитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение», с. 419.

Глава 7

1. Прочитировано в: Коул «Теория всего» (K. C. Cole, *A Theory of Everything*, *New York Times Magazine*, 18 October 1987), с. 20.
2. Джон Хорган «Суперструнный искуситель» (John Horgan, *The Pied Piper of Superstrings*, *Scientific American*, November 1991), с. 42, 44.
3. Прочитировано в: Коул «Теория всего», с. 25.
4. Дэвид Гросс, интервью. См.: «Суперструны», под ред. Дэвиса и Брауна, с. 150.
6. Виттен, интервью. См.: «Суперструны», под ред. Дэвиса и Брауна, с. 95.

Виттен подчеркивает, что у Эйнштейна были основания формулировать общую теорию относительности, начиная с физического принципа — принципа эквивалентности (согласно которому гравитационная масса и инертная масса объекта одинаковы, поэтому все тела независимо от их величины падают на землю с одной и той же скоростью). Однако аналог принципа эквивалентности для теории струн еще не найден.

Как отмечает Виттен, «было ясно, что теория струн, в сущности, служит логически последовательной структу-

рой, охватывающей и гравитацию, и квантовую механику. В то же время концептуальная основа, обеспечивающая понимание этой теории, аналогичная принципу эквивалентности, который Эйнштейн обнаружил в своей теории гравитации, пока не появилась» (там же, с. 97).

Вот почему в настоящее время Виттен разрабатывает так называемые *топологические теории поля*, т. е. теории, совершенно независимые от нашего способа измерения расстояний. Есть надежда, что эти топологические теории поля могут соответствовать некой «неоткрытой разновидности теории струн», т. е. теории, находящейся за пределами планковской длины.

7. Гросс, интервью. См.: «Суперструны», под ред. Дэвиса и Брауна, с. 150.
8. Джон Хорган «Суперструнный искуситель», с. 42.
9. Рассмотрим компактификацию для полностью гетеротической струны, которой свойственно два типа колебаний: одно — в полном 26-мерном пространстве-времени, второе — в обычном 10-мерном пространстве-времени. Поскольку $26 - 10 = 16$, можно предположить, что 16 из 26 измерений свернуты, т. е. «компактифицированы» с образованием некой системы, в итоге у нас остается десятимерная теория. Всякий, кто пройдет по любому из этих 16 направлений, в конечном итоге вернется в ту же точку.

Питер Фройнд предположил, что группа симметрии для этого 16-мерного компактифицированного пространства — группа $E(8) \times E(8)$. Быстрая проверка подтверждает, что эта симметрия значительно обширнее и что к ней относится группа симметрии Стандартной модели $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$.

Словом, ключевое выражение $26 - 10 = 16$. Оно означает, что, если мы компактифицируем 16 из первоначальных 26 измерений гетеротической струны, у нас появится 16-мерное компактное пространство с остаточной симметрией $E(8) \times E(8)$. Но согласно теории Калуцы–Клейна, частица, вынужденная существовать в компактифициро-

ванном пространстве, неизбежно наследует симметрию этого пространства. Значит, колебания струны должны преобразовываться согласно группе симметрии $E(8) \times E(8)$.

В итоге можно сделать вывод, что теория группы показывает: данная группа гораздо обширнее, чем группа симметрии, появляющаяся в Стандартной модели, следовательно, может включать Стандартную модель как малую подсистему десятимерной теории.

10. Несмотря на то что теория супергравитации определена в 11 измерениях, масштабы этой теории все равно недостаточны, чтобы вместить все взаимодействия частиц. Крупнейшая группа симметрии для супергравитации — $O(8)$, а она слишком мала, чтобы вместить симметрии Стандартной модели.

На первый взгляд кажется, что 11-мерная супергравитация обладает большим числом измерений, следовательно, большей симметрией, чем 10-мерная суперструна. Однако это лишь видимость, потому что гетеротическая струна начинается с компактификации 26-мерного пространства до уровня 10-мерного пространства, в итоге у нас остается 16 компактифицированных измерений, которые дают группу $E(8) \times E(8)$. Этого с избытком хватает для размещения Стандартной модели.

11. Виттен, интервью. См.: «Суперструны», под ред. Дэвиса и Брауна, с. 102.
12. Отметим, что предлагались и другие альтернативные непertурбативные подходы к струнной теории, однако они не такие прогрессивные, как струнная теория поля. Один из самых смелых — «универсальное пространство модулей», попытка проанализировать свойства струнных поверхностей с бесконечным количеством отверстий в них. (К сожалению, никто не знает, как выполнять вычисления для поверхности такого рода.) Еще один вариант — метод ренормализационной группы, которым на данный момент можно воспроизводить только поверхности без отверстий (древовидные схемы). Есть также

матричные модели, на данный момент определяемые не более чем для двух измерений.

13. Для того чтобы понять смысл этой таинственной двойки, вспомним, что у луча света два физических режима колебаний. Поляризованный свет может вибрировать, допустим, либо в горизонтальном, либо в вертикальном направлении. У релятивистского поля Максвелла A_μ четыре компонента, где $\mu = 1, 2, 3, 4$. Мы вправе вычесть два из этих четырех компонентов, пользуясь калибровочной симметрией уравнений Максвелла. Поскольку $4 - 2 = 2$, первоначальные четыре поля Максвелла сведутся к двум. Так и релятивистская струна колеблется в 26 измерениях, но два из этих режимов колебания теряются, когда мы нарушаем симметрию струны, в итоге у нас остается 24 режима колебания, которые и фигурируют в функции Рамануджана.
14. Цитировано в: Годфри Харди «Рамануджан» (Godfrey H. Hardy, Ramanujan, Cambridge: Cambridge University Press, 1940), с. 3.
15. Цитировано в: Джеймс Ньюмен «Мир математики» (James Newman, The World of Mathematics, Redmond, Wash.: Tempus Books, 1988), с. 1: 363.
16. Харди «Рамануджан», с. 9.
17. Там же, с. 10.
18. Там же, с. 11.
19. Там же, с. 12.
20. Джонатан Борвейн и Питер Борвейн «Рамануджан и пи» (Jonathan Borwein and Peter Borwein, Ramanujan and Pi, Scientific American, February 1988), с. 112.

Глава 8

1. Дэвид Гросс, интервью. См.: «Суперструны: Теория всего?», под ред. Пола Дэвиса и Джулиана Брауна (Paul Davies and J. Brown, ed., Superstrings: A Theory of Everything? Cambridge: Cambridge University Press, 1988), с. 147.
2. Шелдон Глэшоу «Взаимодействия» (Sheldon Glashow, Interactions, New York: Warner, 1988), с. 335.

3. Там же, с. 333.
4. Там же, с. 330.
5. Стивен Вайнберг «Мечты об окончательной теории» (Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, New York: Pantheon, 1992), с. 218–219.
6. Прочитировано в: Джон Д. Барроу и Фрэнк Типлер «Антропный космологический принцип» (John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford: Oxford University Press, 1986), с. 327.
7. Прочитировано в: Фрэнк Вильчек и Бетси Дивайн «Стремление к гармонии» (F. Wilczek and B. Devine, *Longing for the Harmonies*, New York: Norton, 1988), с. 65.
8. Джон Апдайк «Космическая наглость» (John Updike, *Telephone Poles and Other Poems*, New York: Knopf, 1960).
9. Прочитировано в: Коул «Теория всего» (K. C. Cole, *A Theory of Everything*, *New York Times Magazine*, 18 October 1987), с. 28.
10. Прочитировано в: Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 11.
11. Прочитировано в: Коул «Ответные вибрации: размышления о физике как образе жизни» (K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, New York: Bantam, 1985), с. 225.

Глава 9

1. Прочитировано в: Эдвард Харрисон «Маски Вселенной» (E. Harrison, *Masks of the Universe*, New York: Macmillan, 1985), с. 211.
2. Прочитировано в: Кори Пауэлл «Золотой век космологии» (Corey S. Powell, *The Golden Age of Cosmology*, *Scientific American*, July 1992), с. 17.
3. На самом деле теория орбиобразия разработана несколькими авторами, в том числе Лэнсом Диксоном, Джефффри Харви и Эдвардом Виттенем из Принстона.

4. Много лет назад математики задали себе простой вопрос: если имеется изогнутая поверхность в N -мерном пространстве, сколько видов колебаний может существовать на ней? Представим, к примеру, что на барабан насыпали песок. Когда барабан вибрирует с определенной частотой, песчинки танцуют на его поверхности, образуя красивый симметричный рисунок. Различные рисунки песчинок соответствуют разным частотам, возможным на поверхности барабана. Так математики вычислили количество и определили виды резонансных колебаний на поверхности изогнутого N -мерного пространства. Они даже определили количество и виды колебаний, которые может совершать электрон на такой гипотетической поверхности. Для математиков эти расчеты были всего лишь замысловатой гимнастикой для ума. Никто и не думал, что они могут иметь какие-либо физические последствия. Ведь считалось, что электроны не совершают колебания на N -мерных поверхностях.

Всю эту совокупность математических теорем в настоящее время можно применить к проблеме семейств в теориях Великого объединения. Если теория струн верна, тогда каждое семейство теорий Великого объединения должно быть отражением какого-то колебания на орбитах. Поскольку математиками систематизированы различные виды колебаний, физикам остается лишь заглянуть в литературу по математике, чтобы выяснить, сколько существует идентичных семейств! Таким образом, источник проблемы семейств — *топология*. Если теория струн верна, происхождение трех дублирующих друг друга семейств частиц в теориях Великого объединения удастся понять лишь после того, как мы охватим сознанием десять измерений.

Как только мы свернем ненужные измерения в крохотный шарик, то получим возможность сравнить теорию с экспериментальными данными. К примеру, наименьшее возбуждение струны соответствует замкнутой струне

с очень малым радиусом. Частицы, участвующие в колебании малой замкнутой струны, — те же самые, которые фигурируют в теории супергравитации. Таким образом, мы получаем все хорошие результаты супергравитации, не отягощенные плохими результатами. Симметричная группа новой супергравитации — $E(8) \times E(8)$, значительно превосходящая симметрию Стандартной модели и даже теорий Великого объединения. Следовательно, в теорию суперструн входят и теории Великого объединения, и теория супергравитации (без самых досадных недостатков и той и другой). Вместо того чтобы уничтожить соперников, теория суперструн просто поглощает их.

Проблема с орбиобразиями заключается в том, что таковых можно построить сотни тысяч. Это изобилие ошеломляет нас! В принципе, каждое из них описывает гармоничную вселенную. Но как определить, какая из вселенных та, что нам нужна? Среди тысяч решений мы находим немало таких, которые предсказывают именно три поколения или семейства кварков и лептонов. Кроме того, мы можем прогнозировать тысячи решений, в которых таких поколений окажется гораздо больше трех. Таким образом, если в теориях Великого объединения три поколения считаются избыточными, то во многих решениях для теории струн трех поколений явно недостаточно!

5. Дэвид Гросс, интервью. См.: «Суперструны: Теория всего?», под ред. Пола Дэвиса и Джулиана Брауна (Paul Davies and J. Brown, ed., *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988), с. 142–143.
6. Там же.

Глава 10

1. Точнее, исключаящий принцип Паули гласит, что два электрона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии с одинаковыми квантовыми числами. Это означает, что белый карлик можно упрощенно рассматри-

вать как море Ферми или облако электронов, подчиняющихся принципу Паули.

Так как электроны не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии, результирующая сила отталкивания не дает им сжаться в точку. Если речь идет о белом карлике, то эта отталкивающая сила в конечном счете противодействует силе гравитации.

Та же логика применима к нейтронам в нейтронной звезде, так как они тоже подчиняются исключающему принципу Паули, хотя вычисления в данном случае сложнее из-за других ядерных и общих релятивистских воздействий.

2. Джон Мичелл в *Философских трудах Королевского общества* (John Michell in *Philosophical Transactions of the Royal Society* 74 (1784): 35).
3. Процитировано в: Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 57.

Глава 11

1. Процитировано в: Энтони Зи «Пугающая симметрия» (Anthony Zee, *Fearful Symmetry*, New York: Macmillan, 1986), с. 68.
2. Курт Гёдель «Пример нового типа космологических решений уравнений гравитационного поля Эйнштейна» (K. Godel, *An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation*, *Reviews of Modern Physics* 21, 1949), с. 447.
3. Фрэнк Типлер «Нарушение причинно-следственной связи в асимптотически плоском пространстве-времени» (F. Tipler, *Causality Violation in Asymptotically Flat Space-Times*, *Physical Review Letters* 37m 1976), с. 979.
4. Майкл Моррис, Кип Торн и Ульви Юртсевер «Червоточины, машины времени и слабое энергетическое условие» (M. S. Morris, K. S. Thorne, and U. Yurtsever, *Wormholes*,

- Time Machines, and the Weak Energy Condition, *Physical Review Letters* 61, 1988), с. 1446.
5. Майкл Моррис, Кип Торн «Червоточины в пространстве-времени и их применение для межзвездных путешествий: Инструмент для преподавания общей теории относительности» (M. S. Morris, K. S. Thorne, *Wormholes in Spacetime and Their Use for Interstellar Travel: A Tool for Teaching General Relativity*, *American Journal of Physics* 56, 1988), с. 411.
 6. Фернандо Эчеверрия, Гуннар Клинкхаммер и Кип С. Торн «Биллиардные шары в пространстве-времени червоточин с замкнутыми временеподобными кривыми: Классическая теория» (Fernando Echeverria, Gunnar Klinkhammer and Kip S. Thorne, *Billiard Balls in Wormhole Spacetimes with Closed Timelike Curves: Classical Theory*, *Physical Review D* 44, 1991), с. 1079.
 7. Майкл Моррис, Кип Торн и Ульви Юртсевер «Червоточины», с. 1447.

Глава 12

1. Стивен Вайнберг «Проблема космологической константы» (Steven Weinberg, *The Cosmological Constant Problem*, *Review of Modern Physics* 61, 1989), с. 6.
2. Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 377.
3. Там же, с. 378.
4. Процитировано в: Алан Лайтман и Роберта Брауэр «Истоки: Жизнь и миры современных космологов» (Alan Lightman, Roberta Brawer, *Origins: The Lives and World of Modern Cosmologists*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990), с. 479.
5. Ричард Фейнман, интервью. См.: «Суперструны: Теория всего?», под ред. Пола Дэвиса и Джулиана Брауна (Paul Davies and J. Brown, ed., *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988), с. 196.

6. Вайнберг «Проблема космологической константы», с. 7.
7. Цитировано в: Коул «Ответные вибрации: Размышления о физике как образе жизни» (K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, New York: Bantam, 1985), с. 204.
8. Цитировано в: Джон Гриббен «В поисках кота Шрёдингера» (John Gribben, *In Search of Schrodinger's Cat*, New York: Bantam, 1984), с. vi.
9. Цитировано в: Хайнц Пейджелс «Космический код» (Heinz Pagels, *The Cosmic Code*, New York: Bantam, 1982), с. 113.
10. Цитировано в: Эдвард Харрисон «Маски Вселенной» (E. Harrison, *Masks of the Universe*, New York: Macmillan, 1985), с. 246.
11. Фрэнк Вильчек и Бетси Дивайн «Стремление к гармонии» (F. Wilczek and B. Devine, *Longing for the Harmonies*, New York: Norton, 1988), с. 129.
12. Пейджелс «Космический код», с. 155.
13. Цитировано в: Дэвид Фридман «Параллельные вселенные: Новая реальность от самого эксцентричного гарвардского физика» (David Freedman, *Parallel Universes: The New Reality — From Harvard's Wildest Physicist*, *Discover Magazine*, July 1990), с. 52.
14. Там же, с. 48.
15. Там же, с. 49.
16. Там же, с. 51.
17. Там же, с. 48.

Глава 13

1. Пол Дэвис «Суперсила: Поиск теорий Великого объединения природы» (Paul Davies, *Superforce: The Search of a Grand Unified Theory of Nature*, New York: Simon and Schuster, 1984), с. 168.
2. Фримен Дайсон «Растревоженная Вселенная» (Freeman Dyson, *Disturbing the Universe*, New York: Harper&Row, 1979), с. 76.

3. Фримен Дайсон «Бесконечность во всех направлениях» (Freeman Dyson, *Infinite in All Directions*, New York: Harper&Row, 1988), с. 196–197.
4. Дайсон «Растревоженная Вселенная», с. 212.
5. Карл Саган «Космос» (Carl Sagan, *Cosmos*, New York: Random House, 1980), с. 306–307.
6. В сущности, миллионы лет назад самоуничтожение было еще более простым процессом. Основная проблема, вставшая перед любым видом существ, занятых изготовлением атомной бомбы, — отделение урана-235 от его более распространенного двойника, урана-238, который не в состоянии поддерживать цепную реакцию. Однако уран-235 составляет всего 0,3% от встречающегося в природе урана. Для поддержания нарастающей цепной реакции необходим уровень обогащенности как минимум 20%. Уран, предназначенный для изготовления оружия, должен иметь обогащенность не менее 90%. (По этой причине урановые рудники не страдают от спонтанных ядерных взрывов. Дело в том, что природный уран в урановых шахтах обогащен всего на 0,3%, в нем довольно низка концентрация урана-235, в итоге он не поддерживает нарастающую ядерную цепную реакцию.)

Поскольку продолжительность существования урана-235 коротка по сравнению с его более распространенным двойником, ураном-238, встречающаяся в природе нашей Вселенной в давние времена обогащенность значительно превышала 0,3%. Другими словами, в то время цивилизации было бы гораздо проще создать атомную бомбу, так как встречающийся в природе уровень обогащенности значительно превышал сегодняшний.

7. Хайнц Пейджелс «Космический код» (Heinz Pagels, *The Cosmic Code*, New York: Bantam, 1982), с. 309.
8. Саган «Космос», с. 231.
9. Процитировано в: Мелинда Бек и Дэниэл Глик «Если комета промахнется» (Melinda Beck, Daniel Glick, *And If the Comet Misses*, Newsweek, 23 November 1992), с. 61.

Глава 14

1. Цитировано в: Джон Д. Барроу и Фрэнк Типлер «Антропный космологический принцип» (John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford: Oxford University Press, 1986), с. 167.
2. Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. 382.
3. Там же, с. 234.
4. Астрономы Джон Барроу из Университета Суссекса в Англии и Джозеф Силк из Калифорнийского университета в Беркли усматривают в этом мрачном сценарии надежду. Они пишут: «Если жизнь в любой форме и виде переживет этот решающий экологический кризис, значит, Вселенная удовлетворяет определенным базовым требованиям. основополагающая предпосылка для выживания интеллекта — источник энергии.

Анизотропии космического расширения, испарение черных дыр, остаточные явные сингулярности — для жизни все они являются спасательными средствами того или иного рода... Бесконечное количество информации потенциально доступно в открытой Вселенной, и усвоение этой информации — главная цель любого стремящегося выжить нематериального интеллекта (см.: «Левая рука сотворения» (The Left Hand of Creation, New York: Basic Books, 1983), с. 226).

5. Там же.
6. Джералд Фейнберг «Подсказки по существу» (Gerald Feinberg, *Solid Clues*, New York: Simon and Schuster, 1985), с. 95.

Глава 15

1. Цитировано в: Хайнц Пейджелс «Космический код» (Heinz Pagels, *The Cosmic Code*, New York: Bantam, 1982), с. 173–174.
2. Виттен, интервью. См.: «Суперструны: Теория всего?», под ред. Пола Дэвиса и Джулиана Брауна (Paul Davies

- and J. Brown, ed., *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988), с. 102.
3. Цитировано в: Джон Барроу и Фрэнк Типлер «Антропный космологический принцип» (John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford: Oxford University Press, 1986), с. 185.
 4. Пейджелс «Космический код», с. 382.
 5. Джеймс Трефил «Момент сотворения» (James Trefil, *The Moment of Creation*, New York: Macmillan, 1983), с. 220.
 6. Джон Эллис, интервью. См.: «Суперструны: Теория всего?», под ред. Пола Дэвиса и Джулиана Брауна. С. 161.
 7. Цитировано в: Криз и Манн «Второе сотворение» (R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation*, New York: Macmillan, 1986), с. 77.
 8. Цитировано в: Энтони Зи «Пугающая симметрия» (Anthony Zee, *Fearful Symmetry*, New York: Macmillan, 1986), с. 122.
 9. Там же, с. 274.
 10. Хайнц Пейджелс «Идеальная симметрия: Поиски начала времен» (Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*, New York: Bantam, 1985), с. xiii.
 11. Стивен Хокинг «Краткая история времени» (Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, New York: Bantam, 1988), с. 175.

Библиография и рекомендуемая литература

Abbot, E. A. *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. New York: New American Library, 1984.

Barrow, J. D., and F. J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

Bell, E. T. *Men of Mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1937.

Calder, N. *The Key to the Universe*. New York: Penguin, 1977.

Chester, M. *Particles*. New York: Macmillan, 1978.

Crease, R., and C. Mann. *The Second Creation*. New York: Macmillan, 1986.

Davies, P. *The Forces of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

Davies, P. *Superforce: The Search for a Grand Unified Theory of Nature*. New York: Simon and Schuster, 1984.

Davies, P., and J. Brown, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Dyson, F. *Disturbing the Universe*. New York: Harper & Row, 1979.

Dyson, F. *Infinite in All Directions*. New York: Harper & Row, 1988.

Feinberg, G. *Solid Clues*. New York: Simon and Schuster, 1985.

Feinberg, G. *What Is the World Made Of?* New York: Doubleday, 1977.

French, A. P. *Einstein: A Centenary Volume*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979.

Gamow, G. *The Birth and Death of Our Sun*. New York: Viking, 1952.

Glashow, S. L. *Interactions*. New York: Warner, 1988.

Gribben, J. *In Search of Schrodinger's Cat*. New York: Bantam, 1984.

Hawking, S. W. *A Brief History of Time*. New York: Bantam, 1988.

Heisenberg, W. *Physics and Beyond*. New York: Harper Torchbooks, 1971.

Henderson, L. D. *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983.

Kaku, M. *Introduction to Superstrings*. New York: Springer-Verlag, 1988.

Kaku, M., and J. Trainer. *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*. New York: Bantam, 1987.

Kaufmann, W. J. *Black Holes and Warped Space-Time*. San Francisco: Freeman, 1979.

Lenin, V. *Materialism and Empiro-Criticism*. In K. Marx, F. Engels, and V. Lenin, *On Dialectical Materialism*. Moscow: Progress, 1977.

Pagels, H. *The Cosmic Code*. New York: Bantam, 1982.

Pagels, H. *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*. New York: Bantam, 1985.

Pais, A. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982.

Penrose, R. *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

Polkinghorne, J. C. *The Quantum World*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1984.

Rucker, R. *Geometry, Relativity and the Fourth Dimension*. New York: Dover, 1977.

Rucker, R. *The Fourth Dimension*. Boston: Houghton Mifflin, 1984.

Sagan, C. *Cosmos*. New York: Random House, 1980.

Silk, J. *The Big Bang: The Creation and Evolution of the Universe*. 2nd ed. San Francisco: Freeman, 1988.

- Trefil, J. S. *From Atoms to Quarks*. New York: Scribner, 1980.
- Trefil, J. S. *The Moment of Creation*. New York: Macmillan, 1983.
- Weinberg, S. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books, 1988.
- Wilczek, F., and B. Devine. *Longing for the Harmonies*. New York: Norton, 1988.
- Zee, A. *Fearful Symmetry*. New York: Macmillan, 1986.

Предметный указатель

А

Азимов, Айзек 388, 430
Альварес, Луис 411
Альварес, Уолтер 411
Антейл, Джордж 474
Антропный принцип 358,
360–363
Апдайк, Джон 484
«Астрочикен» 388, 389

Б

Байё, гобелен 103
Барроу, Джон 425, 428–430, 484,
491, 492
Белл, Эрик Темпл 62, 466, 467,
469
Белый карлик 315, 424, 486
Блейк, Уильям 50, 264, 307, 314,
316, 318, 320, 328, 342, 388,
424, 425, 491
Бозон 261
Бойяи, Янош 469
Большое сжатие 14, 57, 58, 363,
420, 421, 426–428
Бонд, Нельсон 118
Бор, Нильс 165, 198
Борхес, Хорхе Луис 366
Броновски, Якоб 125, 475
Буллер, Артур Генри Реджинальд
327

В

Вайнберг, Стивен 32, 182, 202,
213, 254, 256, 360, 362,
484, 488, 489
Вайскопф, Виктор 143, 436
Ван Ньювенхейзен, Питер 209,
211, 212, 480
Вафа, Камран 287, 288, 291, 293
Вебер, Вильгельм 87, 90
Велтман, Мартинус 176
Венециано, Габриэль 230, 231,
235, 237–240, 243, 451
Вигнер, Юджин 454
Вильчек, Фрэнк 367, 484, 489
Виттен, Эдвард 217, 242
Волновая функция Вселенной
356, 369, 374
Врэнчану, Георге 157
Вульф, Теодор 263

Г

Гамов, Георгий 281–283, 336
Гаусс, Карл Фридрих 67, 77, 79,
452, 467–469
Гейзенберг, Вернер 165, 171, 197,
237, 440, 450, 454
Гексли, Томас 434, 458, 463
Гелл-Манн, Мюррей 256
Гиперкуб 111–113, 115, 120, 122
Гиперпончик 146

- Глэшоу, Шелдон 178, 255, 256, 483
- Глюоны 179
- Голдсмит, Доналд 393
- Горовиц, Пол 392
- Гравитация 40, 70, 77, 78, 137, 139, 141, 152, 157, 185, 209, 225, 296, 301, 310, 313, 314, 373, 421, 448, 472
- Гравитино 209, 261
- Гравитон 221, 225
- Грин, Майкл 242
- Гросс, Дэвид 225, 254, 292, 437, 480, 483, 486
- Гут, Алан 47, 56, 362
- Д**
- Дайсон, Фримен 361, 388–392, 396, 490
- Дали, Сальвадор 113, 114
- Дарвин, Чарльз 58, 191, 419
- Девитт, Брайс 206, 366
- Деформации пространства 387
- Джеймс, Уильям 49
- Джинс, Джеймс 171, 422
- Джонсон, Линдон 234
- Дирак, Поль 166, 212, 269, 453
- Доджон, Чарльз 50
- Дрейк, Фрэнк 393–395
- Дэвис, Пол 379
- З**
- Закон Хаббла 373
- Замкнутая временеподобная кривая 340
- Зингер, Изадор 453
- И**
- Излучение абсолютно черного тела 280, 286
- К**
- Казимира, эффект 351
- Казимир, Хендрик 351
- Капра, Фритьоф 442
- Кардашев, Николай 385
- Квантовая теория 160, 165–168, 170, 173, 175, 176, 198, 206, 220, 230, 246, 252, 287, 294, 303, 324, 328, 329, 351, 354, 363, 365, 366, 425, 439, 449
- Квантовая хромодинамика, КХД 180
- Квантовая электродинамика, КЭД 180
- Кварки 41, 179, 185, 192, 193, 208, 210, 291, 292, 301, 426, 442, 446
- ароматные 179, 187
- верхние 187
- нижние 187
- самый высокий 187
- самый низкий 187
- странные 187
- цветные 179, 187
- очарованные 187
- Кеплер, Иоганн 463
- Керр, Рой 318, 319
- Киккава, Кейдзи 232, 238, 240, 293
- Клейн, Оскар 160, 206, 294
- Клиффорд, Уильям 469, 470
- Конрад, Джозеф 474
- Космическое излучение 194, 262–264, 266, 269, 286, 438
- Космологическая постоянная 372–375
- Космологическое доказательство Бога 273, 276
- Коулмен, Сидни 371, 372, 374, 375
- Красное смещение 278
- Красный гигант 310, 414, 420
- Кривая энергии связи 308, 312, 424
- Крукс, Уильям 87, 90, 473
- Ксенофан 359
- Кэрролл, Льюис 45, 50, 51, 76, 101, 182, 365

Л

Лавлейс, Клод 240
 Ленард, Филипп 436
 Леонардо да Винчи 103, 104
 Литтлвуд, Джон 249, 250
 Ложный вакуум 295, 296, 297,
 299
 Лоуренс, Эрнест 263

М

Макдональд, Джордж 101
 Максвелла уравнения 133, 199
 Максвелл, Джеймс Клерк 15, 55,
 155, 207, 210, 211
 Маркс, Карл 98, 475
 Марсден, Брайан 409
 Мах, Эрнст 266
 Мебиус, Август 99
 Мебиуса, лента 99
 Миллс, Роберт 175, 207, 210
 Мировая линия 334–337
 Мичелл, Джон 315, 487
 Мичел, Хэлен 411
 Мор, Генри 49
 Моррис, Майкл 343, 348, 487, 488
 Мюллер, Ричард 413
 Мюон 180, 185

Н

Намбу, Ёитиро 231, 232
 Наппи, Кьяра 217
 Нейман, Джон фон 429
 Нейтрино 176, 177, 180, 183, 185,
 187, 192, 193, 220, 266, 268,
 301, 355, 424
 Нордстрём, Гуннар 156, 478
 НУТ-решение 342
 Ньюман, Эзра 341
 Ньютон, Исаак 15, 60, 125, 131,
 212, 340, 354, 421, 452, 455

О

Общая теория относительности
 143, 174, 217, 226, 229, 231,

253, 287, 318, 324, 328, 338,
 340, 347, 420, 438, 488

Объединенная теория поля 452
 Оорта, облако 413, 414
 Оппенгеймер, Роберт 166
 Острайкер, Иеремиа 283
 Оуэн, Тобиас 393

П

Паули, Вольфганг 160, 197, 198,
 266, 487
 Паули, принцип 486
 Пейджелс, Хайнц 32, 202, 362,
 402, 440, 462, 480, 489–492
 Пензиас, Арно 280, 282
 Период полураспада 174, 195, 279
 Пиаже, Жан 297
 Пикассо, Пабло 49, 104–106, 217
 Планк, Макс 124, 136
 Планковская длина 160, 376, 391,
 466
 Планковская энергия 161, 270,
 396
 Поле Янга–Миллса 55, 173, 175,
 176, 178–181, 185, 192, 193,
 196, 200, 203, 205–208, 210,
 223, 438, 442, 450, 451
 Постоянная Ньютона 466
 Постоянная Планка 466
 Принцип Маха 140, 150, 320, 340
 Принцип неопределенности
 Гейзенберга 169, 266, 351,
 439, 458
 Проект SETI, «поиск внеземного
 разума» 393
 Пруст, Марсель 474
 Путешествия во времени 46,
 325–329, 331, 332, 337,
 339–344, 348, 350, 352

Р

Раби, Исидор 16, 461
 Рамануджан, Сриниваса 246, 248,
 249, 250, 251, 483
 Распад протонов 363

- Рассел, Бертран 58, 419
 Рауп, Дэвид 413
 Редукционизм 438, 441, 446, 448, 451
 Резерфорд, Эрнест 191
 Риман, Георг Бернхард 44, 50, 61
 Риманов метрический тензор 143, 200, 201, 203, 206, 210, 211, 213, 471
- С**
- Саган, Карл 345, 379, 411, 415, 490
 Сакита, Бундзи 232
 Салам, Абдус 197, 208, 478
 Свифта–Таттла, комета 409
 Сепкоски, Джон 413
 Силк, Джозеф 425, 491
 Сильное взаимодействие 168, 169, 175, 179–182, 185, 192, 207, 230, 302
 Симметрия 133, 182–184, 186, 191, 193, 203–205, 208, 210, 216, 227, 234, 252, 262, 296, 298, 299, 301, 302, 374, 465, 479–481, 484, 487, 488, 491, 492
 Скорость убегания 314, 315
 Скрябин, Александр 474
 Слабое взаимодействие 175–178, 180, 183, 185, 192, 268, 279, 301, 302
 Слейд, Генри 85, 87–90, 117
 Слептон 262
 Смут, Джордж 283
 Сноу, Чарльз 422
 Спарнаай, Маркус 351
 Специальная теория относительности 37, 127, 130, 131, 135, 136, 139, 183, 237, 240, 327, 338, 345, 391
 Спин 208, 240
 Стайн, Гертруда 49, 474
 Стандартная модель 178–180, 182, 184–188, 191–193, 195, 198, 199, 203, 209, 216, 219, 226–228, 257, 261, 291, 292, 299, 373, 434, 437, 441–443, 451, 481, 482, 486
 Стефана–Больцмана, закон 280
 Судзуки, Махико 230
 Суперколлайдер сверхпроводящий 42, 258, 259, 380, 437
 Суперструны 10, 16, 18, 31, 41, 210, 216, 218, 223, 225–227, 229, 230, 241–243, 247, 253, 254, 259, 262, 270, 287, 291, 292, 296, 299, 301, 352, 376, 426, 434, 451, 453, 457, 462, 465, 486
- Т**
- Тамбурино, Луис 341
 Тау-лептон 185
 Таунсенд, Пол 214
 Теорема Пифагора 70, 72, 73, 471
 Теории Великого объединения 191–193, 195, 206, 211, 222, 225, 227, 291, 301, 302, 373, 424, 442, 451, 485, 486
 Теория Большого взрыва 14, 56, 259, 269, 277–287, 301, 346, 421, 430, 438
 Теория Калуцы–Клейна 10, 30, 31, 41, 151, 157, 160, 161, 197, 202, 203, 205–207, 209, 216, 221, 222, 225, 227, 241, 245, 291, 426, 434, 446, 451, 465, 481
 Теория поля 18, 27, 55, 58, 59, 123, 149, 151, 156, 197, 198, 223, 226, 229, 237–240, 242, 243, 245, 262, 269, 270, 293, 296, 452, 481, 482
 Термодинамики второй закон 423
 Тессеракт 111, 120, 122
 Типлер, Фрэнк 342, 428, 429, 430
 Торн, Кип 46, 56, 343, 487, 488
 Трейман, Сэмюэл 217
 Трейнер, Дженнифер 16, 18, 446
 Трефил, Джеймс 442

Хоофт, Герард 175, 176, 178, 213,
450

У

Уайльд, Оскар 97, 474
Уайтхед, Альфред Норт 453
Уиллинк, Артур 92, 474
Уилсон, Роберт 280
Уилсон, Эдвард 459
Уиндем, Джон 370
Усредненное слабое
энергетическое условие
350, 352, 487
Уэзерилл, Джордж 394
Уэллс, Герберт 97–101, 130, 392,
474

Ф

Фазовый переход 296–300
Фейнберг, Джералд 427, 491
Фейнмана, диаграммы 177, 239,
454
Фейнман, Ричард 189, 238, 366,
440, 488
Фермионы 208, 487
Ферми, Энрико 174, 208, 487
Феррара, Серджо 209
фон Гельмгольц, Герман 33, 78,
79
Фотон 175, 208
Фраунгофер, Йозеф 265
Фридман, Дэниэл 209
Фройнд, Питер 34–36, 41, 56,
156–158, 206, 465, 479, 481
Функция Рамануджана 247, 252,
483

Х

Хаббл, Эдвин 373
Хайнлайн, Роберт 120
Харви, Джеффри 224, 484
Харди, Годфри 249–251, 483
Хендерсон, Линда Далримпл 49,
92, 101, 105, 466–468, 470,
472, 474

Хиггса, бозон 185, 261, 438
Хинтона, кубы 111
Хинтон, Чарльз 34, 91, 109–111,
113, 116, 117, 120, 130, 135,
158
Хокинг, Стивен 212, 330, 352,
353, 354, 363, 368, 463, 492
Холизм 441, 446

Ц

Цёлльнер, Иоганн 86–88, 90, 117,
130, 472
Цивилизации I, II и III типа 387,
388, 390–392, 396, 406,
411, 414, 418

Ч

Чандрасекар, Субраманьян 143,
318
«Червоточины», «кратовины» 15,
43–47, 52, 76, 303, 324, 325,
344, 345, 347–350, 357, 369,
372, 374–376, 379
Черные дыры 50, 141, 188, 229,
264, 307, 314–316, 318, 320,
328, 342, 388, 421, 424,
425, 491
Чу, Джеффри 450

Ш

Шапиро, Мейер 105
Шварц, Джон 41, 222, 225, 241
Шварцшильд, Карл 316
Швингер, Джулиан 198
Шелл, Джонатан 400
Шерк, Жоэль 241
Шихи, Гейл 296
Шрёдингера кот 363, 443, 448
Шрёдингер, Эрвин 165, 364

Э

Эверетт, Хью 366
Эйнштейн, Альберт 18, 23, 27,
32, 33, 37, 40, 55, 61, 108,

- 109, 123–127, 133–140,
142, 144, 148–152, 154,
155, 166, 167, 174, 197,
200, 207, 210, 221, 226,
229, 235, 253, 266, 287,
316, 317, 326, 327, 333,
338, 340, 341, 343, 344,
364, 368, 372, 373, 436,
440, 443, 454, 456, 458,
478, 481
- Эйнштейна–Розена мост 316–319,
321, 344
- Эквивалентности принцип 137,
229, 230, 456, 480, 481
- Эллис, Джон 452, 492
- Энтропийная (тепловая) смерть
422
- Эрикссон, Эрик 296
- Эрнквист, Ларс 416
- Эски, Ричард 251
- Ю**
- Юй, Лопин 237
- Юкава, Хидеки 237
- Юм, Дэвид 258
- Юртсевер, Ульви 343, 487, 488
- Я**
- Янг, Чжэньнин 55, 175, 188
- S**
- S-матрицы теория 448–451
- W**
- W-бозоны 168
- Z**
- Z-бозон 180

Каку Митио

ГИПЕРПРОСТРАНСТВО

Научная одиссея
через параллельные миры,
дыры во времени
и десятое измерение

Руководитель проекта *И. Серёгина*
Корректоры *Е. Аксенова, М. Савина, М. Миловидова*
Компьютерная верстка *А. Фоминов*
Дизайнер обложки *О. Сидоренко*
Художник-иллюстратор *Роберт О'Киф*

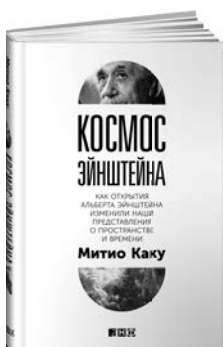
В дизайне обложки использована иллюстрация Shutterstock.com

Подписано в печать 08.08.2016. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.
Объем 32 печ. л. Тираж 3000 экз. Заказ № .

ООО «Альпина нон-фикшн»
123060, г. Москва
ул. Расплетина, д. 19, офис 2
Тел. +7 (495) 980-5354
www.nonfiction.ru

Знак информационной продукции
(Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)

0+



Космос Эйнштейна

Как открытия Альберта Эйнштейна изменили наши представления о пространстве и времени
Митио Каку, пер. с англ., 2016, 272 с.

Описывая жизнь Альберта Эйнштейна, Митио Каку погружает нас в бурлящую атмосферу первой половины XX в. — две мировые войны, революция в Германии, создание атомной бомбы. Он показывает читателю невидимый обычно за триумфальной стороной открытый и озарений мир ученого — этапы становления, баталии в научном мире, зачастую непростые отношения с близкими. В книге представлен свежий взгляд на новаторскую деятельность Эйнштейна, перевернувшего представления человечества о пространстве и времени. Автор книги, Митио Каку, — всемирно известный физик и популяризатор науки. Его умение доносить научные знания до самого широкого читателя сродни великому Эйнштейну, любившему повторять, что новая теория никогда не годится, если не базируется на зримом образе, достаточно простом, чтобы понять его мог даже ребенок.



Будущее разума

Митио Каку, пер. с англ., 2-е изд., 2016, 502 с.

Прямое мысленное общение с компьютером, телекинез, имплантация новых навыков непосредственно в мозг, видеозапись образов, воспоминаний и снов, телепатия, аватары и суррогаты как помощники человечества, экзоскелеты, управляемые мыслью, и искусственный интеллект. Это все наше недалекое будущее. В ближайшие десятилетия мы научимся форсировать свой интеллект при помощи генной терапии, лекарств и магнитных приборов. Наука в этом направлении развивается стремительно. Изменится характер работы и общения в социальных сетях, процесс обучения и в целом человеческое развитие. Будут побеждены многие неизлечимые болезни, мы станем другими. Готов ли наш разум к будущему? Что там его ждет? На эти вопросы, опираясь на последние исследования в области нейробиологии и физики, отвечает Митио Каку, футуролог, популяризатор науки и автор научно-популярных бестселлеров.



Физика невозможного

Митио Каку, пер. с англ., 7-е изд., 2016, 456 с.

Еще совсем недавно нам трудно было даже вообразить сегодняшний мир привычных вещей. Какие самые смелые прогнозы писателей-фантастов и авторов фильмов о будущем имеют шанс сбыться у нас на глазах? На этот вопрос пытается ответить Митио Каку, американский физик японского происхождения и один из авторов теории струн. Из книги вы узнаете, что уже в XXI в., возможно, будут реализованы силовые поля, невидимость, чтение мыслей, связь с внеземными цивилизациями и даже телепортация и межзвездные путешествия.



Физика будущего

Митио Каку, пер. с англ., 4-е изд., 2016, 584 с.

Кому, как не ученым-физикам, рассуждать о том, что будет представлять собой мир в 2100 году? Как одним усилием воли будут управляться компьютеры, как силой мысли человек сможет двигать предметы, как мы будем подключаться к мировому информационному полю? Возможно ли это? Оказывается, возможно и не такое. Искусственные органы; парящие в воздухе автомобили; невероятная продолжительность жизни и молодости — все эти чудеса не фантастика, а научно обоснованные прогнозы серьезных ученых, интервью с которыми обобщил в своей книге Митио Каку.



Голубая точка

Космическое будущее
человечества

Карл Саган, пер. с англ., 2016, 406 с.

Выдающийся популяризатор науки, прекрасный рассказчик, страстный пропагандист космоса, провидец, Карл Саган считает, что стремление странствовать и расширять границы знаний свойственно природе человека и связано с нашим выживанием как вида. В его искренней, захватывающей книге философские размышления переплетаются с восторженными описаниями триумфальных исследований планет и спутников как с участием человека, посещавшего Луну, так и роботизированных миссий. Знакомя нас с нашими соседями по космосу, Саган не просто просвещает и восхищает читателя, он и помогает понять, как защитить Землю.



Мир, полный демонов

Наука — как свеча во тьме

Карл Саган, пер. с англ., 3-е изд., 2016,
537 с.

«Мир, полный демонов» — последняя книга Карла Сана, астронома, астрофизика и выдающегося популяризатора науки, вышедшая уже после его смерти. Эта книга, посвященная одной из его любимых тем — человеческому разуму и борьбе с псевдонаучной глупостью, — своего рода итог всей его работы. Мифы об Атлантиде и Лемурии, лица на Марсе и встречи с инопланетянами, магия и реинкарнация, ясновидение и снежный человек, креационизм и астрология — Саган последовательно и беспощадно разоблачает мифы, созданные невежеством, страхом и корыстью. Эта книга — манифест скептика, учебник здравого смысла и научного метода.



Охотники за нейтрино

Захватывающая погоня
за призрачной элементарной
частицей

Рэй Джаявардхана, пер. с англ., 2015, 254 с.

Эта книга — захватывающий триллер, где действующие лица — охотники-ученые и ускользающие нейтрино. Крошечные частички, которые мы называем нейтрино, дают ответ на глобальные вопросы: почему так сложно обнаружить антиматерию, как взрываются звезды, превращаясь в сверхновые, что происходило во Вселенной в первые секунды ее жизни и даже что происходит в недрах нашей планеты? Книга известного астрофизика Рэя Джаявардхана посвящена не только истории исследования нейтрино. Она увлекательно рассказывает о людях, которые раздвигают горизонты человеческих знаний. Читатель познакомится с проницательным теоретиком Вольфгангом Паули, беспокойным гением Этторе Майораном, предвестником атомного века Энрико Ферми, самоотверженными Мари и Пьером Кюри, романтичным Бруно Понтекорво, который рискнул перебраться в СССР во времена холодной войны; узнает, почему в следующем десятилетии нейтрино изменит наши представления о физике, космологии и жизни на Земле.



Объясняя мир

Истоки современной науки

Стивен Вайнберг, пер. с англ., 2016, 474 с.

Книга одного из самых известных ученых современности, нобелевского лауреата по физике, доктора философии Стивена Вайнберга — захватывающая и энциклопедически полная история науки. Это фундаментальный труд о том, как рождались и развивались современные научные знания, двигаясь от простого коллекционирования фактов к точным методам познания окружающего мира. Один из самых известных мыслителей сегодняшнего дня проведет нас по интереснейшему пути — от древних греков до нашей эры, через развитие науки в арабском и европейском мире в Средние века, к научной революции XVI–XVII веков и далее к Ньютону, Эйнштейну, стандартной модели, гравитации и теории струн.



Структура реальности

Наука параллельных вселенных
Дэвид Дойч, пер. с англ., 2015, 430 с.

Книга британского физика и философа Дэвида Дойча, одного из создателей концепции квантовых вычислений, наглядно демонстрирует, что эпоха великих философских систем вовсе не осталась в прошлом. Автор выстраивает целостный и согласующийся с научными знаниями ответ на один из самых фундаментальных философских вопросов: какова подлинная природа реальности. По Дойчу ткань реальности, каковой она открывается любому носителю разума, сплетается из четырех основных нитей. Это эпистемология Карла Поппера, раскрывающая путь научного знания; это квантовая механика; это основанная Тьюрингом теория вычислений, без которой не понять природу математических объектов; и, наконец, это универсальная теория эволюции, объясняющая развитие не только жизни, но и цивилизации.



Начало бесконечности

Объяснения, которые меняют мир
Дэвид Дойч, пер. с англ., 3-е изд., 2016,
581 с.

Британский физик Дэвид Дойч — не только один из основоположников теории квантовых вычислений, но и философ, стремящийся осмыслить «вечные вопросы» человечества в контексте, заданном развитием науки. Стержневой вопрос данной книги: есть ли предел для человеческого прогресса? Ответ выражен в заглавии: мы стоим у начала бесконечного пути, по которому поведет нас, выдвигая догадки и подвергая их критике, наш универсальный разум. Мы встали на этот путь в эпоху Просвещения, но с него легко сбиться под влиянием ошибочных философских идей, к которым автор причисляет многие течения мысли — от позитивизма до постмодернизма, не говоря уже о религии.



Программируя Вселенную

Квантовый компьютер
и будущее науки

Сет Ллойд, пер. с англ., 2-е изд., 2014,
256 с.

Каждый атом Вселенной, а не только различные макроскопические объекты, способен хранить информацию. Акты взаимодействия атомов можно описать как элементарные логические операции, в которых меняют свои значения квантовые биты — элементарные единицы квантовой информации. Парадоксальный, но многообещающий подход Сета Ллойда позволяет элегантно решить вопрос о постоянном усложнении Вселенной: ведь даже случайная и очень короткая программа в ходе своего исполнения на компьютере может дать крайне интересные результаты.



Достучаться до небес

Научный взгляд
на устройство Вселенной

Лиза Рэндалл, пер. с англ., 3-е изд.,
2016, 518 с.

Человечество стоит на пороге нового понимания мира и своего места во Вселенной — считает авторитетный американский ученый, профессор физики Гарвардского университета Лиза Рэндалл и приглашает нас в увлекательное путешествие по просторам истории научных открытий. Особое место в книге отведено новейшим и самым значимым разработкам в физике элементарных частиц; обстоятельствам создания и принципам действия Большого адронного коллайдера, к которому приковано внимание всего мира; дискуссии между конкурирующими точками зрения на место человека в универсуме.



История Земли. От звездной пыли — к живой планете

Первые 4 500 000 000 лет

Роберт Хейзен, пер. с англ., 2-е изд.,
2016, 346 с.

Книга известного популяризатора науки, профессора Роберта Хейзена, знакомит нас с принципиально новым подходом к изучению Земли, в котором переплетаются история зарождения и развития жизни на нашей планете и история образования минералов. Прекрасный рассказчик, Хейзен с первых строк увлекает читателя динамичным повествованием о совместном и взаимозависимом развитии живой и неживой природы. Вместе с автором читатель, затаив дыхание, совершает путешествие сквозь миллиарды лет: возникновение Вселенной, появление первых химических элементов, звезд, Солнечной системы и, наконец, образование и подробная история Земли. Движение целых континентов через тысячи километров, взлет и падение огромных горных хребтов, уничтожение тысяч видов земной жизни и полная смена ландшафтов под воздействием метеоритов и вулканических извержений — реальность оказывается гораздо интереснее любого мифа.



Искра жизни

Электричество в теле человека

Фрэнсис Эшкрофт, пер. с англ., 2-е изд.,
2016, 394 с.

Все знают, что электричество приводит в действие машины, гораздо менее известно, что это же самое можно сказать о нас самих. Способность читать и понимать написанное, видеть и слышать, думать и говорить, шевелить руками и ногами и даже осознавать собственное «Я» обусловлена электрической активностью клеток, которая инициируется ионными каналами. Они регулируют наши жизненные процессы с момента зачатия и до последнего вздоха. Эта книга — почти детектив, посвященный особой разновидности белковой материи, ионному каналу. Она дает ответы на множество вопросов. Что происходит во время сердечного приступа? Можно ли на самом деле умереть от страха? Почему электрический угорь может ударить током? Как действуют на организм яды?



Суперобъекты

Звезды размером с город

Сергей Попов, 2016, 238 с.

Книга посвящена нейтронным звездам — единственным астрономическим объектам, исследования которых отмечены уже двумя Нобелевскими премиями по физике, и еще две — на подходе. Это говорит о том, что именно они среди всего многообразия небесных тел представляют наибольший интерес для современной физики. Вы узнаете о том, как астрономы наблюдают нейтронные звезды, и какими удивительными объектами они могут быть, а кроме того, у вас будет возможность познакомиться с необычными физическими явлениями, связанными с этими суперобъектами.



Кости, скалы и звезды

Наука о том, когда что произошло

Крис Тёрни, пер. с англ., 4-е изд., 2016, 235 с.

Каков возраст нашей планеты? Когда и зачем были построены египетские пирамиды? Подделка ли Туринская плащаница? Отчего вымерли динозавры? Сколько на самом деле было ледниковых периодов? На примере самых интригующих загадок истории британский ученый Крис Тёрни показывает, как письменные источники, радиоуглеродный анализ, ДНК, пыльца растений, древесные кольца, используемые в новейших технологиях датирования, помогают археологам и геологам «заставить время заговорить». Эта увлекательная, как детектив, книга несет и серьезное предостережение: если мы хотим достойно встретить будущее, особенно важно понимать прошлое.



Красота физики

Постигая устройство природы

Фрэнк Вильчек, пер. с англ., 2016, 604 с.

Верно ли, что красота правит миром? Этим вопросом на протяжении всей истории человечества задавались и мыслители, и художники, и ученые. На страницах великолепно иллюстрированной книги своими размышлениями о красоте Вселенной и научных идей делится Нобелевский лауреат Фрэнк Вильчек. Шаг за шагом, начиная с представлений греческих философов и заканчивая современной главной теорией объединения взаимодействий и направлениями ее вероятного развития, автор показывает лежащие в основе физических концепций идеи красоты и симметрии. Герои его исследования — и Пифагор, и Платон, и Ньютон, и Максвелл, и Эйнштейн. Наконец, это Эмми Нётер, которая вывела из симметрий законы сохранения, и великая плеяда физиков XX в.



Квантовая случайность

Нелокальность, телепортация
и другие квантовые чудеса

Николя Жизан, пер. с англ., 2016, 202 с.

Играет ли Бог в кости? И во что играют физики? Никола Жизан, автор прорывного женеvского эксперимента по передаче квантовой запутанности фотонных пар по оптоволокну, излагает свои взгляды на фундаментальные вопросы квантовой физики через призму игры Белла — воображаемого эксперимента, в котором рассматривается теоретическая возможность сверхсветовой передачи информации с использованием запутанных частиц. Реальные эксперименты с ними доказали нелокальную природу мира — вопреки интуитивному желанию ученых, события в удаленных точках Вселенной могут непосредственно зависеть друг от друга. Истинная природа этих явлений и вытекающие из них следствия в последнее время стали горячей темой физики.



Невероятные числа профессора Стюарта

Иэн Стюарт, пер. с англ., 2016, 422 с.

По сути, математика — это цифры, наш основной инструмент для понимания мира. В своей книге самый известный британский популяризатор математики, профессор Иэн Стюарт предлагает восхитительное знакомство с числами, которые нас окружают, начиная с привычных для нас комбинаций символов и заканчивая более экзотическими — факториалами, фракталами или постоянной Аперри. На этом пути Стюарт рассказывает нам о простых числах, о кубических уравнениях, о понятии нуля, возможных вариантах кубика Рубика, о роли чисел в истории человечества и актуальности их изучения в наше время. С присущими ему остроумием и эрудицией Стюарт раскрывает перед читателем завораживающий мир математики.



Величайшие математические задачи

Иэн Стюарт, пер. с англ., 2-е изд., 2016, 460 с.

Закономерности простых чисел и теорема Ферма, гипотеза Пуанкаре и сферическая симметрия Кеплера, загадка числа π и орбитальный хаос в небесной механике. Многие из нас лишь краем уха слышали о таинственных и непостижимых загадках современной математики. Между тем, как ни парадоксально, фундаментальная цель этой науки — раскрывать внутреннюю простоту самых сложных вопросов. Английский математик и популяризатор науки, профессор Иэн Стюарт, помогает читателю преодолеть психологический барьер. Увлекательно и доступно он рассказывает о самых трудных задачах, над которыми бились и продолжают биться величайшие умы, об истоках таких проблем, о том, почему они так важны и какое место занимают в общем контексте математики и естественных наук. Эта книга — проводник в удивительный и загадочный мир чисел, теорем и гипотез, на передний край математической науки, которая новыми методами пытается разрешить задачи, поставленные перед ней тысячелетия назад.