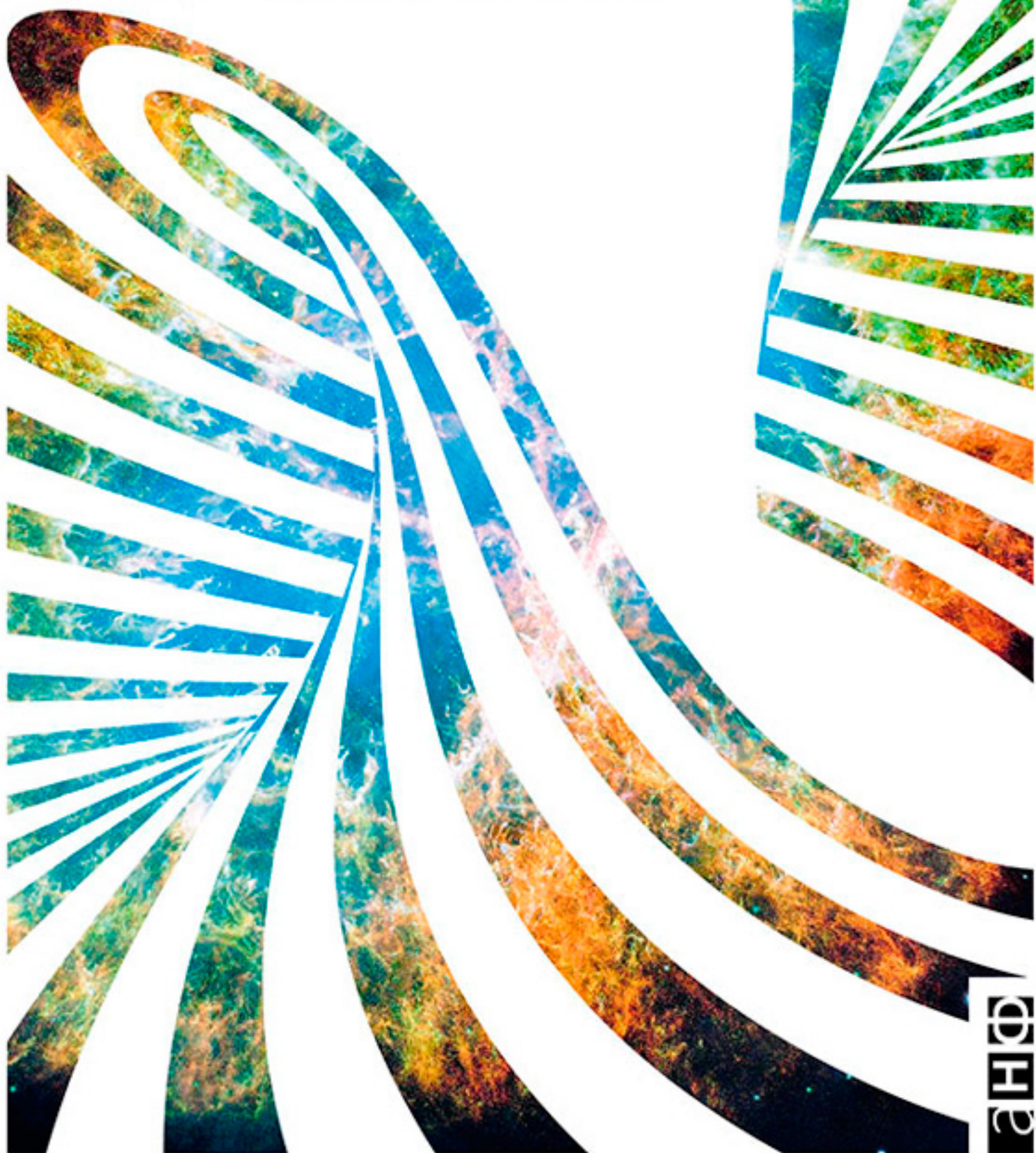


Дэвид Дойч

СТРУКТУРА РЕАЛЬНОСТИ

Наука параллельных вселенных



АНФ

Дойч. Структура реальности



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 и организационную помощь:

Российскую государственную библиотеку

Компанию «Яндекс»

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 памяти Карла Поппера, Хью Эверетта
и Алана Тьюринга, а также Ричарду Докинзу.
В этой книге их идеи восприняты всерьез.*

David Deutsch

THE FABRIC OF REALITY

The Science of Parallel
Universes and Its Implications



PENGUIN BOOKS

Дэвид Дойч

СТРУКТУРА РЕАЛЬНОСТИ

Наука
параллельных вселенных

Перевод с английского



Москва

2015

УДК 524.8
ББК 22.62
Д62

Издательство благодарит Russian Quantum Center, Сергея Белоусова и Виктора Орловского за помощь в подготовке издания

Редактор Игорь Лисов

Редактор Russian Quantum Center Александр Сергеев

Дойч Д.

Д62 Структура реальности. Наука параллельных вселенных / Дэвид Дойч ; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2015. — 430 с.

ISBN 978-5-91671-346-6

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, которая целостно интерпретируется лишь после признания реальность мультиверса — бесконечного ансамбля параллельных вселенных; 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.

Вдумчивый читатель будет поражен сочетанием широты и логической последовательности мысли автора. С его разъяснениями мультиверс перестает казаться фантастикой и становится наиболее естественным описанием той поразительной реальности, которую открыла нам современная наука. За рамками книги остается вопрос о месте и роли человека в столь причудливом мире. Этой теме посвящена другая работа Дэвида Дойча — «Начало бесконечности», которая служит органичным продолжением «Структуры реальности».

УДК 524.8
ББК 22.62

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@alpin.ru.

ISBN 978-5-91671-346-6 (рус.)
ISBN 978-1-101-55063-2 (англ.)

© David Deutsch, 1997

© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2015

Содержание

Предисловие	7
Благодарности	9
1. Теория Всего	11
2. Тени.....	45
3. Решение проблем	71
4. Критерии реальности.....	91
5. Виртуальная реальность	119
6. Универсальность и пределы вычислений	147
7. Диалог об обосновании, или Дэвид Дойч и криптоиндуктивист.....	169
8. Важность жизни	197
9. Квантовые компьютеры.....	229
10. Природа математики	261
11. Время: первая квантовая концепция	303
12. Путешествие во времени	339
13. Четыре нити	375
14. Конец вселенной	401
Библиография.....	427

Предисловие

Если и существует единая мотивация для взгляда на мир, изложенного в этой книге, она заключена в том, что главным образом благодаря ряду экстраординарных научных открытий мы обладаем сейчас некоторыми чрезвычайно глубокими теориями о структуре реальности. Если мы хотим понять мир не поверхностно, а более глубоко, нам помогут эти теории и разум, а не наши предрассудки, приобретенные мнения, и даже не здравый смысл. Наши лучшие теории не только истиннее здравого смысла, но в них гораздо больше смысла, чем в здравом смысле. Мы должны воспринимать их серьезно: не просто как практическую основу соответствующих областей, а как объяснение мира. Я полагаю, что мы сможем достичь величайшего понимания, если будем рассматривать их не по отдельности, а совместно, поскольку они связаны неразделимым образом.

Может показаться странным, что это предложение — постараться выработать рациональное и самосогласованное мировоззрение на основе наших лучших, наиболее фундаментальных теорий — является совершенно беспрецедентным и вызывает серьезные разногласия. Но на практике получается именно так. Одна из причин заключается в том, что каждая из этих теорий, когда ее воспринимают серьезно, влечет крайне контринтуитивные следствия. Поэтому предпринимаются всевозможные попытки избежать встречи с этими следствиями: теории *специально* изменяют или дают им иные интерпретации, произвольно сужают область их применимости или просто применяют на практике, не делая далеко идущих выводов. Я буду критиковать некоторые подобные попытки (ни одна из которых, по-моему, и гроша ломаного не стоит),

но только в том случае, когда такая критика является удобным способом объяснения самих теорий. Главная цель этой книги — не защищать эти теории, а исследовать, какой была бы структура реальности, если бы эти теории оказались истинными.

Благодарности

Развитию идей, описанных в этой книге, в значительной степени способствовали беседы с Брайсом ДеВиттом, Артуром Экертом, Майклом Локвудом, Энрико Родриго, Деннисом Сиамой, Фрэнком Типлером, Джоном Уилером и Колей Вулфом.

Я выражаю благодарность своим друзьям и коллегам Рут Чанг, Артуру Экерту, Дэвиду Джонсон-Дэвису, Майклу Локвуду, Энрико Родриго и Коле Вулфу, своей маме Тикве Дойч и своим издателям Кэролайн Найт и Рави Мирчандани (издательство Penguin Books) и Джону Вудраффу, и особенно Саре Лоренс за внимательное и критичное чтение первых черновиков этой книги, а также за множество предложенных ими исправлений и улучшений. Также я признателен всем, кто читал и комментировал части рукописи, включая Харви Брауна, Стива Грэхема, Росселлу Лупаччини, Свейна Олава Ньюберга, Оливера и Гарриет Стримпел, а в особенности Ричарда Докинза и Фрэнка Типлера.

1

Теория Всего

Помню, когда я был еще ребенком, мне говорили, что в древние времена очень образованный человек мог *знать все, что было известно*. Кроме того, мне говорили, что в наше время известно так много, что ни один человек даже за всю свою жизнь не в состоянии изучить больше крошечной частички этого знания. Последнее удивляло и разочаровывало меня. Я просто отказывался в это поверить. Вместе с тем я не знал, как оправдать свое неверие. Но такое положение вещей меня определенно не устраивало, и я завидовал древним ученым.

Не то чтобы я хотел заучить все факты, перечисленные в энциклопедиях мира: напротив, я ненавидел зубрежку. Не таким способом я надеялся получить возможность узнать все, что только было известно. Даже если бы мне сказали, что ежедневно появляется столько публикаций, сколько человек не сможет прочитать и за целую жизнь, или что науке известно 600 000 видов жуков, это не разочаровало бы меня. Я не горел желанием проследить за полетом каждого воробья. Более того, я никогда не считал, что древний ученый, который, как предполагалось, знал все, что было известно, стал бы занимать себя чем-то подобным. Я иначе представлял себе то, что может считаться известным. Под «известным» я подразумевал *понятое*.

Сама мысль о том, что один человек в состоянии понять все, что понято, может показаться фантастической, однако фантастики в ней куда меньше, чем в мысли о том, что один человек сможет запомнить все известные факты. К примеру, никто не сможет за-

помнить все известные результаты научных наблюдений даже в такой узкой области, как движения планет, но многие астрономы *понимают* эти движения настолько полно, насколько их можно понять. Это становится возможным, потому что понимание зависит не от знания множества фактов как таковых, а от наличия правильных концепций, объяснений и теорий. Одна сравнительно простая и понятная теория может охватить бесконечно много неудобоваримых фактов. Лучшей теорией планетарного движения является *общая теория относительности* Эйнштейна, которая в самом начале XX века вытеснила теории гравитации и движения Ньютона. Теория Эйнштейна в принципе предсказывает не только все движения планет, но и все остальные эффекты гравитации, и согласуется с нашими самыми точными измерениями. Дело в том, что, когда теория предсказывает что-либо «в принципе», это означает, что предсказание логически следует из теории, даже если на практике для получения некоторых таких предсказаний необходимо произвести больше вычислений, чем мы способны осуществить технически или физически в той вселенной, которую мы знаем.

Способность предсказывать или описывать что-либо, даже достаточно точно, совсем не равноценна пониманию этого. В физике предсказания и описания часто выражаются в виде математических формул. Допустим, я запомнил формулу, из которой при наличии времени и желания мог бы вычислить любое положение планет, которое когда-либо было записано в архивах астрономов. Что же я в этом случае выиграл бы по сравнению с непосредственным заучиванием архивов? Формулу проще запомнить, но ведь найти число в архивах может быть даже проще, чем вычислить его из формулы. Истинное преимущество формулы в том, что ее можно использовать в бесконечном множестве случаев помимо архивных данных, например, для предсказания результатов будущих наблюдений. С помощью формулы можно также получить более точное историческое положение планет, потому что архивные данные содержат ошибки наблюдений. И все же несмотря на то, что формула охватывает бесконечно больше фактов, чем архив наблюдений, знать ее не значит понимать движения планет. Факты невозможно понять, попросту собрав их в формулу, так же как нельзя понять

их, просто записав или запомнив. Факты можно понять только после объяснения. К счастью, наши лучшие теории наряду с точными предсказаниями содержат глубокие объяснения. Например, общая теория относительности объясняет гравитацию на основе новой четырехмерной геометрии искривленного пространства и времени. Она точно объясняет, каким образом эта геометрия воздействует на материю и подвергается воздействию материи. В этом объяснении и заключается полное содержание теории; а предсказания движений планет — это всего лишь некоторые следствия, выводимые из этого объяснения.

Общая теория относительности так важна не потому, что она может чуть более точно предсказать движение планет, чем теория Ньютона, а потому, что она открывает и объясняет такие аспекты действительности, о которых ранее не подозревали — например, искривление пространства и времени. Это типично для научного объяснения. Научные теории объясняют объекты и явления в нашей жизни, опираясь на лежащую в их основе фундаментальную реальность, которую мы не воспринимаем непосредственно. Но способность теории объяснить то, что мы ощущаем, — не самое ценное ее качество. Самое ценное заключается в том, что она объясняет саму структуру реальности. Как мы увидим, одно из самых ценных, значимых и полезных качеств человеческой мысли — ее способность открывать и объяснять структуру реальности.

Однако некоторые философы, и даже ученые, недооценивают роль объяснения в науке. Для них основная цель научной теории заключается не в объяснении чего-либо, а в предсказании результатов экспериментов: все содержание теории заключено в формуле предсказания. Они считают, что годится любое непротиворечивое объяснение, которое теория может дать своим предсказаниям, равно как и отсутствие объяснения, — до тех пор, пока ее предсказания верны. Такой взгляд называется *инструментализмом* (поскольку в этом случае теория — всего лишь «инструмент» для предсказаний). Саму мысль о том, что наука может позволить нам понять скрытую реальность, лежащую в основе наших наблюдений, инструменталисты считают ложной и тщеславной. Они не понимают, каким образом то, о чем говорит научная теория помимо предска-

зания результатов экспериментов, может быть чем-то бóльшим, чем пустые слова. В частности, объяснения они считают вспомогательными психологическими приспособлениями — чем-то вроде художественных элементов, включаемых в теории, чтобы сделать их занимательнее и облегчить запоминание. Лауреат Нобелевской премии, физик Стивен Вайнберг¹, явно говорил с позиций инструментализма, сделав следующий невероятный комментарий к объяснению гравитации Эйнштейном:

«Важно иметь возможность сделать предсказания относительно изображений на фотопластинках астрономов, частот спектральных линий и т. п., а то, припишем ли мы эти прогнозы физическому воздействию гравитационных полей на движение планет и фотонов [как это было в физике до Эйнштейна] или искривлению пространства и времени, просто не имеет значения» (*Gravitation and Cosmology*, p. 147).

Вайнберг и другие инструменталисты ошибаются. То, что мы приписываем изображениям на астрономических фотопластинках, имеет значение, и не только для физиков-теоретиков вроде меня, у которых мотивацией для написания формул и изучения теорий как раз и является лучше понять мир. (Я уверен, что эта мотивация присуща и Вайнбергу: вряд ли его стимулирует одно лишь желание предсказывать изображения и спектры!) Дело в том, что даже для чисто практического применения прежде всего важна объяснительная сила теории, а уж потом, в качестве дополнения, — ее предсказательные возможности. Если это вас удивляет, представьте, что на земле появился инопланетный ученый и преподнес нам ультравысокотехнологичный «оракул», который может предсказать результат любого эксперимента, но без каких-либо объяснений. Если верить инструменталистам, то как только мы получим этот оракул, или предсказатель, наши научные теории нам будут нужны разве что для развлечения. Но так ли это? Каким образом оракул можно было бы использовать практически? В некотором смысле

¹ Стивен Вайнберг (род. 1933) — американский физик и популяризатор науки. Один из авторов теории электрослабого взаимодействия, за которую в 1979 г. вместе с Шелдоном Глэшоу и Абдусом Саламом был удостоен Нобелевской премии. — *Прим. ред.*

он содержал бы знания, необходимые для того, чтобы построить, скажем, межзвездный корабль. Но как именно он бы пригодился нам при строительстве такого корабля, или при создании другого подобного предсказателя, или даже при усовершенствовании мышловки? Оракул всего лишь предсказывает результаты экспериментов. Следовательно, чтобы вообще использовать его, нам сначала нужно знать, о каких экспериментах его можно спрашивать. Если бы мы дали предсказателю проект космического корабля и информацию о предполагаемом испытательном полете, он мог бы сказать нам, как поведет себя корабль во время этого полета. Но спроектировать космический корабль предсказатель не смог бы. И даже если бы он сообщил нам, что спроектированный нами космический корабль взорвется при запуске, он не смог бы сказать нам, как предотвратить этот взрыв. Эту проблему снова пришлось бы решать нам. А прежде чем ее решить, прежде чем приступить хоть к какому-то усовершенствованию конструкции, нам пришлось бы *понять*, кроме всего прочего, принцип работы космического корабля. И только тогда у нас появилась бы возможность узнать, почему он может взорваться при запуске. Предсказание — пусть даже самое совершенное, универсальное предсказание — не способно заменить объяснение.

Сходным образом и в научных исследованиях оракул не может дать нам ни одной новой теории. Только в том случае, если у нас уже есть теория и мы придумали эксперимент для ее проверки, можно было бы спросить его, что произойдет, если подвергнуть эту теорию данному испытанию. Таким образом, предсказатель заменил бы вовсе не теории — он заменил бы эксперименты. Он избавил бы нас от затрат на испытательные лаборатории и ускорители частиц. Вместо того чтобы строить опытные образцы космических кораблей и рисковать жизнью летчиков-испытателей, все испытания мы могли бы проводить на земле, посадив летчиков в пилотажные тренажеры, поведение которых определялось бы предсказаниями оракула.

Предсказатель мог бы быть весьма полезен во многих ситуациях, но его полезность всегда будет зависеть от способности людей решать научные проблемы точно так же, как они вынуждены де-

лать это сейчас, а именно — изобретая объяснительные теории. Он даже не может заменить все эксперименты, поскольку на практике его способность предсказать результат какого-то частного эксперимента зависит от того, что проще: достаточно точно описать этот эксперимент, чтобы оракул дал полезный ответ, или провести эксперимент в действительности. Таким образом, для связи с предсказателем нужен своего рода «пользовательский интерфейс». Возможно, описание эксперимента придется вводить на каком-то стандартном языке, причем одни эксперименты было бы труднее описать, чем другие. На практике описание многих экспериментов оказалось бы слишком сложным для ввода. Таким образом, предсказатель имел бы те же основные достоинства и недостатки, что и любой другой источник экспериментальных данных, и был бы полезен только в тех случаях, когда обращение к нему оказывалось бы удобнее, чем к другим источникам.

Можно посмотреть на ситуацию и другим способом: такой оракул уже существует рядом с нами, и это — физический мир. Он сообщает нам результат любого возможного эксперимента, если мы спрашиваем его на правильном языке (т. е. если мы проводим эксперимент), хотя в некоторых случаях нам не очень удобно «вводить описание эксперимента» в требуемой форме (т. е. создавать некий прибор и управлять им). И он тоже не дает никаких объяснений.

В немногих практических случаях, например, при прогнозе погоды, оракул, обладающий исключительно предсказательной функцией, устроил бы нас почти в той же степени, как и объяснительная теория. Но даже в этом случае это справедливо лишь при условии, что сделанный оракулом прогноз погоды является полным и совершенным. На практике прогнозы погоды неполны и несовершенны, и, чтобы скомпенсировать неточность, в них включают объяснения того, как метеорологи получили тот или иной прогноз. Объяснения позволяют нам судить о надежности прогноза и вывести дальнейшие предсказания с учетом нашего месторасположения и наших нужд. К примеру, для меня есть разница, чем будет вызвана ветреная погода, которую прогнозируют на завтра: ожидаемой близостью района с высоким атмосферным давлением или более отдаленным ураганом. В последнем случае я был бы более осторожным.

Метеорологам самим необходимы объяснительные теории о погоде, чтобы они могли угадать, какие приближения можно допустить при компьютерном моделировании погоды, какие дополнительные наблюдения обеспечат более точный и своевременный прогноз погоды и т. п.

Таким образом, идеал инструменталистов, олицетворяемый нашим воображаемым оракулом, а именно — научная теория, лишенная своего объяснительного содержания, будет иметь очень ограниченную полезность. Так будем благодарны, что реальные научные теории не похожи на этот идеал и что ученые в действительности к нему не стремятся.

Крайняя форма инструментализма, называемая *позитивизмом* (или логическим позитивизмом), утверждает, что все положения, отличные от тех, которые описывают или предсказывают наблюдения, не только излишни, но и бессмысленны. И хотя в соответствии с этим критерием в самой доктрине отсутствует смысл, она тем не менее господствовала в науке всю первую половину XX столетия! Идеи инструменталистов и позитивистов широко распространены даже сегодня. Причина такой их внешней убедительности заключается в том, что, хотя предсказание не является целью науки, оно является характерной чертой научного *метода*. Этот научный метод включает выдвижение новой теории для объяснения некоторого класса явлений, затем проведение *решающей экспериментальной проверки* — такого эксперимента, для которого старая теория предсказывает один видимый результат, а новая теория — другой. Затем теория, предсказания которой оказались ложными, отвергается. Таким образом, результат решающего эксперимента, который позволяет сделать выбор между двумя теориями, зависит от предсказаний теорий, а не напрямую от их объяснений. Именно отсюда истекает ошибочное представление, что в научной теории нет ничего, кроме предсказаний. Однако экспериментальная проверка — это далеко не единственный процесс, обеспечивающий рост научного знания. Подавляющее большинство теорий отвергли не потому, что они не прошли проверку экспериментом, а потому, что они давали плохие объяснения. Мы отвергаем такие теории, даже не проверяя их. Например, рассмотрим следующую теорию:

съев килограмм травы, можно вылечить от простуды. Эта теория делает предсказание, которое можно проверить на опыте: если люди попробуют лечиться травой и найдут это неэффективным, будет доказана ее ложность. Но эту теорию никогда не проверяли экспериментально и, возможно, никогда не будут проверять, потому что она не дает объяснений: она не объясняет ни механизм лечения, ни что бы то ни было еще. Поэтому мы справедливо полагаем, что она ложная. Всегда есть бесконечно много возможных теорий такого рода, совместимых с существующими наблюдениями и предлагающих новые предсказания, и у нас не хватило бы ни времени, ни средств, чтобы проверить их все. Мы проверяем те новые теории, которые выглядят более обещающими для объяснения вещей, чем доминирующие сегодня.

Утверждать, что предсказание — цель научной теории, значит путать средства и цели. Точно так же можно сказать, что цель космического корабля — сжигать топливо. На самом деле горение топлива — это лишь один из многих процессов, которые корабль должен выполнить для достижения своей действительной цели, то есть для транспортировки полезного груза из одной точки космического пространства в другую. Успешная экспериментальная проверка — это лишь один из многих шагов, которые теория должна пройти для достижения истинной цели науки, состоящей в объяснении мира.

Как я уже сказал, объяснения неизбежно включают то, чего мы не наблюдаем непосредственно: атомы и силы; внутреннее строение звезд и вращение галактик; прошлое и будущее; законы природы. Чем глубже объяснение, тем к более отдаленным от непосредственного опыта сущностям оно должно обращаться. Однако эти сущности не являются вымышленными: напротив, они часть самой структуры реальности.

Объяснения часто порождают предсказания, по крайней мере, в принципе. В самом деле, если что-то вообще можно предсказать, то достаточно полное объяснение должно обеспечивать столь же полное предсказание (помимо всего прочего). Однако можно объяснить и понять многие очевидным образом непредсказуемые вещи. Например, вы не можете предсказать, какие номера выдаст хоро-

шая, симметричная рулетка. Но если вы понимаете, что именно в конструкции и действии рулетки делает ее беспристрастной, то вы сможете объяснить, почему невозможно предсказать номера. И опять: знание о том, что рулетка является честной, не равноценно пониманию того, что делает ее таковой.

И я говорю именно о понимании, а не просто о знании (или описании, или предсказании). Поскольку понимание приходит через объяснительные теории, и благодаря высокой общности таких теорий, быстрый рост числа зафиксированных фактов не обязательно усложняет понимание всего, что понято. Тем не менее большинство людей считает (и именно так мне говорили в детстве), что с ошеломляющей скоростью растет не только количество записанных фактов, но также количество и сложность теорий, через которые мы познаем мир. Следовательно, говорят они, не важно, было или нет такое время, когда один человек мог понять все, что было понято, в наше время это точно невозможно, и это становится все более и более невозможным по мере роста нашего знания. Может показаться, что каждый раз, когда появляется новое объяснение или методика, существенная для данного предмета, приходится добавлять еще одну теорию к списку, который должен выучить любой, кто желает понять предмет. Когда же количество таких теорий в любом предмете становится слишком большим, появляются специализации. Физика, к примеру, разделилась на астрофизику, термодинамику, физику элементарных частиц, квантовую теорию поля и многие другие части. Теоретическая основа каждой из них по крайней мере столь же обширна, как вся физика была сто лет назад, и многие уже распадаются на подспециализации. Кажется, что, чем больше открытий мы делаем, тем дальше и тем более безвозвратно нас уносит в век узких специалистов, и тем более далекими становятся те гипотетические древние времена, когда понимание обычного человека могло охватить все, что только было понято.

Человека, столкнувшегося с этим огромным и быстро растущим списком теорий, созданных человеческой расой, можно простить за его сомнения в том, что один индивидуум способен за свою жизнь отведать каждое блюдо и самостоятельно, как это могло быть когда-то, оценить все известные рецепты. Однако объясне-

ние — необычная пища: большую порцию не обязательно труднее проглотить. Теорию может вытеснить новая теория, более точная, с большим количеством объяснений, но и более простая для понимания. В этом случае старая теория становится лишней, и мы понимаем больше, а учим меньше. Именно это и произошло, когда теория Николая Коперника о том, что Земля движется вокруг Солнца, вытеснила сложную систему Птолемея, которая помещала Землю в центр вселенной. Иногда новая теория может упрощать существующую, как в случае, когда арабские (десятичные) цифры заменили римские. (В данном случае теория выражена неявно. Каждая система записи делает определенные операции, высказывания и мысли о числах проще, чем другие системы, и, следовательно, воплощает некую теорию о том, какие отношения между числами являются полезными или интересными.) Новая теория может также объединять две старые теории, давая нам больше понимания, чем при их использовании по отдельности, как это произошло, когда Майкл Фарадей и Джеймс Клерк Максвелл объединили теории электричества и магнетизма в одну теорию электромагнетизма. Более удачные объяснения любого предмета обычно косвенным образом ведут к совершенствованию методологии, концепций и языка, с помощью которых мы пытаемся понять другие предметы, а следовательно, по мере возрастания нашего знания в целом его структура может становиться более доступной для понимания.

Часто бывает так, что даже после того, как старые теории включаются в новые, они не забываются полностью. Даже римские цифры все еще используются сегодня в определенных случаях. Те громоздкие методы, с помощью которых люди когда-то вычисляли, что XIX, умноженное на XVII, равно CCCXXIII, уже не применяются всерьез, но даже сейчас они несомненно известны и понятны кому-то, например, историкам математики. Означает ли это, что человек не может понять «все, что понято», не зная римских цифр и их загадочной арифметики? Совсем нет. Современный математик, который по какой-то причине никогда не слышал о римских цифрах, тем не менее уже обладает полным пониманием связанной с ними математики. Узнав о римских цифрах, этот математик приобретет не новое понимание, а всего лишь новые факты —

исторические факты, факты о свойствах некоторых произвольно определенных символов, но не новое знание о самих числах. Он уподобится зоологу, который учится переводить названия видов на иностранный язык, или астрофизику, который узнает, каким образом люди различных культур группируют звезды в созвездия.

Необходимо ли знание арифметики римских цифр для понимания *истории* — отдельный вопрос. Можно допустить, что какая-то историческая теория — какое-то объяснение — зависит от определенных методов, которые древние римляне использовали для умножения. Ведь есть же предположение о том, например, что их особые методы строительства водопроводов из свинцовых труб, отравлявших питьевую воду, внесли свой вклад в падение Римской империи! Если так, то нам следует узнать, какие это были методы, если мы хотим понять историю, а следовательно, и понять все, что понято. Но ни одно современное объяснение истории не связано с методикой умножения чисел, так что наши сведения относительно этих методов — не более чем констатация фактов. Все, что понятно, может быть понято и без заучивания этих фактов. Мы в любое время можем посмотреть в справочник, если, например, расшифровываем древний текст, в котором эти методы упоминаются.

Постоянно разграничивая понимание и «просто» знание, я не хочу преуменьшить важность зафиксированной, но не объясняющей информации. Такая информация безусловно важна для всего: от воспроизводства микроорганизма (который содержит такую информацию в молекулах ДНК) до самого абстрактного человеческого мышления. Чем же тогда отличается понимание от простого знания? Что есть объяснение, если противопоставить его констатации факта, такой как точное описание или предсказание? На практике мы обычно легко видим разницу. Мы знаем, когда чего-то не понимаем, даже если мы можем точно описать и предсказать это (например, течение известной болезни неизвестного происхождения), и также мы знаем, когда объяснение улучшает наше понимание. Но дать точное определение понятий «объяснение» или «понимание» сложно. Грубо говоря, они скорее отвечают на вопрос «почему», чем на вопрос «что»; затрагивают внутреннюю суть вещей; описывают их реальное, а не кажущееся состояние;

говорят о том, что должно быть, а не просто что случается; определяют законы природы, а не эмпирические правила. Эти понятия также связаны с согласованностью, красотой и простотой в противоположность произвольному и сложному, хотя ни одному из этих понятий тоже нельзя дать простого определения. Но в любом случае понимание — это одна из высших функций человеческого мозга и разума, и эта функция уникальна. Многие другие физические системы, например, мозг животных, компьютеры и другие машины, способны усваивать факты и действовать в соответствии с ними. Но в настоящее время мы не знаем ничего, кроме человеческого разума, что было бы способно понять объяснение и, главное, желало бы его получить. Каждое открытие нового объяснения и каждый акт понимания существующего объяснения зависит от уникальной человеческой способности мыслить творчески.

То, что произошло с римскими цифрами, можно рассматривать как процесс «разжалования» объяснительной теории до простого описания фактов. Подобное снижение статуса теорий происходит постоянно по мере роста нашего знания. Изначально римская система цифр действительно формировала часть концептуальной и теоретической системы взглядов, посредством которой люди, пользовавшиеся их, понимали мир. Но сейчас то понимание, которое когда-то достигалось таким образом, — не более чем крошечный аспект гораздо более глубокого понимания, воплощенного в современных математических теориях и неявно — в современной записи чисел.

Это иллюстрирует еще одно свойство понимания. Можно понимать что-то, не осознавая, что понимаешь, и даже не будучи знакомым с предметом. Возможно, это звучит парадоксально, но весь смысл глубоких, общих объяснений состоит в том, что они охватывают не только знакомые ситуации, но и незнакомые. Если бы вы были современным математиком и впервые столкнулись с римскими цифрами, возможно, вы бы сразу не осознали, что уже понимаете их. Сначала вам бы пришлось узнать определенные факты о том, что это такое, а потом поразмышлять над этими фактами в свете имеющегося у вас понимания математики. Но сделав это, вы могли бы, оглядываясь, сказать: «Да, в римской системе цифр

для меня нет ничего нового, кроме фактов». Именно это мы имеем в виду, когда говорим, что объяснительная роль римских цифр полностью устарела.

Точно так же, когда я говорю, что понимаю, каким образом кривизна пространства и времени влияет на движение планет, в том числе и в других солнечных системах, о которых я, возможно, никогда и не слышал, я не утверждаю, что могу вспомнить без дальнейших размышлений объяснение всех особенностей формы и возмущений орбиты любой планеты. Я имею в виду, что понимаю теорию, содержащую все эти объяснения, и поэтому могу вывести любое из них, если получу некоторые факты о конкретной планете. Сделав это, я могу, оглянувшись в прошлое, сказать: «Да, за исключением фактов, я не вижу в движении этой планеты ничего, что не объясняла бы общая теория относительности». Мы понимаем структуру реальности, только понимая объясняющие ее теории. А поскольку они объясняют больше, чем непосредственно осознаем, мы можем понимать больше того, в чем непосредственно отдаем себе отчет.

Я не утверждаю, что если мы понимаем теорию, то мы *обязательно* понимаем и все, что она может объяснить. В очень глубокой теории осознание того, что она объясняет данное явление, само по себе может быть значительным открытием, требующим независимого объяснения. Например, квазары — чрезвычайно яркие источники излучения в центре некоторых галактик — в течение многих лет были одной из загадок астрофизики. Некоторое время полагали даже, что для их объяснения потребуется новая физика, но сейчас мы считаем, что их объясняет общая теория относительности и другие теории, которые были известны еще до открытия квазаров. Мы полагаем, что квазары состоят из горячего вещества, находящегося в процессе падения в черную дыру (сколлапсировавшие звезды, со столь сильным гравитационным полем, что из него невозможно вырваться¹). Однако потребовались многие годы на-

¹ Черные дыры в квазарах в миллионы раз массивнее звезд. Они возникли либо в результате длительной аккумуляции массы сколлапсировавшими звездами, либо непосредственно за счет коллапса огромных газовых облаков. — *Прим. ред.*

блюдений и теоретических исследований, прежде чем мы пришли к этому выводу.

Теперь, когда мы считаем, что достигли определенной степени понимания квазаров, ясно, что раньше мы этим пониманием не обладали. Хотя мы и объяснили квазары через существующие теории, мы получили абсолютно новое понимание. Насколько сложно дать определение объяснению, настолько же сложно определить, когда следует считать такое дополнительное объяснение независимой составляющей того, что понято, а когда рассматривать его как относящееся к более глубокой теории. Это сложно определить, но не так сложно осознать: как и с объяснениями в целом, на практике мы опознаем новое объяснение, когда получаем его. И снова: разница связана с творческой способностью. Объяснить движение конкретной планеты человеку, который уже понимает общую теорию относительности, — чисто механическая задача, хотя она может оказаться очень сложной. Но чтобы использовать существующую теорию для объяснения квазаров, необходимо творческое мышление. Таким образом, чтобы понять все, что понято в астрофизике на сегодняшний день, вам придется явным образом изучить теорию квазаров. А вот знать орбиту какой-то определенной планеты не обязательно.

Таким образом, хотя количество известных нам теорий, да и зафиксированных фактов, растет как снежный ком, из этого еще не следует, что сама структура становится более сложной для понимания. Дело в том, что, становясь более подробными и многочисленными, отдельные теории постоянно «теряют актуальность», так как понимание, которое они содержат, переходит к глубоким, более общим теориям. Количество последних все время уменьшается, но они становятся более глубокими и более общими. Под «большой общностью» я подразумеваю то, что каждая из этих теорий больше говорит о большем количестве ситуаций, чем несколько отдельных теорий ранее. Под «большой глубиной» я понимаю то, что каждая из них объясняет больше (заключает в себе большее понимание), чем ее предшественники, вместе взятые.

Если бы вы захотели построить большое сооружение, мост или собор несколько веков назад, вам понадобился бы опытный

мастер. Он бы имел некоторые знания о том, как придать прочность и устойчивость конструкции с минимально возможными усилиями и затратами, но не смог бы выразить большую часть этого знания на языке математики и физики, как мы можем сделать это сегодня. Вместо этого он полагался бы главным образом на сложное сочетание интуиции, навыков и эмпирических правил, которые узнал во времена своего ученичества, а впоследствии, возможно, усовершенствовал, руководствуясь догадками и долгим опытом работы. Тем не менее эта интуиция, эти навыки и эмпирические правила на самом деле были явными и неявными *теориями*, и они содержали реальное знание о предметах, которые сегодня мы называем инженерным делом и архитектурой. Именно из-за знания этих теорий, пусть очень неточных по сравнению с существующими сегодня и применимых в небольшом числе случаев, вы и наняли бы этого мастера. Восхищаясь строениями, простоявшими века, люди часто забывают, что видят лишь то, что уцелело. Подавляющее большинство сооружений, построенных в средние века и раньше, давно развалилось, и зачастую вскоре после постройки. Особенно это касалось новаторских сооружений. Считалось очевидным, что любое нововведение несет риск катастрофы, и строители редко отступали от традиционных конструкций и методов. В наши дни, напротив, большая редкость, если какое-то строение (пусть даже не похожее ни на что из построенного раньше) развалится из-за негодного проекта. Все, что мог построить квалифицированный строитель древности, его современные коллеги могут построить лучше и с намного меньшими усилиями. Они также могут соорудить такие строения, о которых он вряд ли мечтал, например, небоскребы или космические станции. Они могут использовать такие материалы, как стекловолокно или железобетон, о которых он никогда не слышал и которые вряд ли смог бы использовать, даже если бы они каким-то образом у него появились, так как он имел весьма смутные и неточные представления о поведении материалов.

Мы достигли нынешнего уровня знаний не потому, что собрали много теорий, подобных тем, что были известны древнему мастеру. Наше знание, явное и неявное, не просто намного больше — оно отличается по своей структуре. Как я уже сказал, современных

теорий меньше, но они более общие и более глубокие. В каждой ситуации, с которой сталкивался древний мастер, выполняя какую-то работу (к примеру, выбирая толщину несущей стены), он пользовался довольно специфической интуицией или эмпирической зависимостью, которые применительно к нестандартным случаям могли дать безнадежно неправильные ответы. В наше время проектировщик принимает такие решения, используя настолько общую теорию, что ее можно применить к стенам, сделанным из любых материалов, в любой среде: на Луне, под водой и где угодно еще. Причина ее общности в том, что теория основана на достаточно глубоких объяснениях принципов поведения материалов и конструкций. Чтобы найти правильную толщину стены из незнакомого материала, используют ту же теорию, для обычной стены, но приступая к расчетам, берут другой набор фактов — другие числовые значения различных параметров. Конечно, приходится искать в справочнике такие факты, как предел прочности на разрыв и упругость материала, но в дополнительном понимании нет необходимости.

Вот почему современный архитектор не нуждается в более длительной или трудоемкой подготовке, понимая гораздо больше, чем древний строитель. Возможно, типичную теорию из учебной программы современного студента понять сложнее, чем любую из эмпирических зависимостей древнего строителя; но современных теорий гораздо меньше, а их объяснительная сила придает им и другие качества, такие как красота, внутренняя логика и связь с другими предметами, благодаря которым эти теории проще изучать. Сейчас мы знаем, что некоторые древние эмпирические правила были ошибочными, другие — истинными или близкими к истине, и мы знаем причины этого. Некоторыми эмпирическими правилами мы до сих пор пользуемся, но ни одно из них уже не является основой для понимания того, почему конструкции не рушатся.

Я, конечно, не отрицаю того, что специализация происходит во многих предметах, где увеличивается знание, включая и архитектуру. Однако это не однонаправленный процесс, так как специализации часто исчезают: колеса уже не проектируют и не изготов-

ливают колесные мастера, плуги — мастера по плугам, а письма уже не пишут писцы. Тем не менее достаточно очевидно, что тенденция углубления и объединения, которую я описывал, не единственная: параллельно с ней происходит непрерывное *расширение*. Поясню: новые идеи часто не просто вытесняют, упрощают или объединяют существующие. Они также расширяют человеческое понимание на области, которые раньше не были понятны совсем или о существовании которых даже не догадывались. Они могут открывать новые возможности, ставить новые задачи, порождать новые специализации и даже новые предметы. И когда такое происходит, нам может потребоваться, по крайней мере на время, изучать больше информации, чтобы понять все это.

Медицинская наука, возможно, является наиболее распространенным примером растущей специализации, которая кажется неизбежным следствием роста знания по мере того, как открываются новые лекарства и способы лечения многих болезней. Но даже в медицине присутствует противоположная тенденция объединения, которая непрерывно усиливается. Общеизвестно, что многие функции тела, как, впрочем, и механизмы многих болезней, еще мало изучены. Следовательно, некоторые области медицинского знания все еще состоят, главным образом, из собрания записанных фактов, навыков и интуиции врачей, имеющих опыт в лечении определенных болезней и передающих эти навыки и интуицию из поколения в поколение. Другими словами, большая часть медицины все еще не вышла из эпохи эмпирических правил, и вновь обнаруженные такие правила стимулируют появление специализаций. Но когда в результате медицинских и биохимических исследований появляются более глубокие объяснения процессов болезни (и здоровых процессов) в теле, увеличивается и понимание. Когда в различных частях тела, в основе разных болезней обнаруживают общие молекулярные механизмы, на смену узким теориям приходят более общие. Как только болезнь понимают настолько, что могут вписать ее в общую структуру, роль специалиста уменьшается. Вместо этого врачи, столкнувшись с незнакомой болезнью или редким осложнением, могут все в большей степени полагаться на объяснительные теории. Они могут посмотреть известные факты в спра-

вочнике, но затем применить обобщенную теорию, чтобы разработать необходимое лечение и ожидать, что оно будет эффективным, даже если никогда раньше оно не применялось.

Таким образом, вопрос о том, сложнее или проще становится понять все, что понято, зависит от баланса двух противоположных результатов роста знания: *расширения* и *углубления* наших теорий. Из-за расширения понять их сложнее, из-за углубления — проще. Один из тезисов этой книги состоит в том, что углубление медленно, но уверенно побеждает. Другими словами, утверждение, в которое я отказывался поверить, будучи ребенком, и в самом деле ложно, а практически истинно противоположное. Мы не удаляемся от состояния, когда один человек способен понять все, что понято, мы приближаемся к нему.

Я не утверждаю, что скоро мы поймем *всё*. Это совсем другой вопрос. Я не верю, что сейчас мы близки или когда-то приблизимся к пониманию *всего, что существует*. Я говорю о возможности понимания *всего, что понято*. Это, скорее, зависит не от содержания нашего знания, а от его структуры. Но структура нашего знания — независимо от возможности его выражения в теориях, составляющих понятное целое — безусловно, зависит от того, на что похожа структура реальности в целом. Если свободный рост знания будет продолжаться бесконечно, и если мы, несмотря ни на что, приближаемся к тому состоянию, когда один человек сможет понять все, что понято, значит, глубина наших теорий должна увеличиваться достаточно быстро, чтобы обеспечить эту возможность. Это может произойти, если только сама структура реальности настолько едина, что по мере роста нашего знания мы сможем понимать ее все больше и больше. Если так и будет продолжаться, то в конечном итоге наши теории станут настолько общими, глубокими и составляющими друг с другом единое целое, что превратятся в единственную теорию единой структуры реальности. Такая теория не объяснит каждый аспект реальности: это недостижимо. Но она охватит все известные объяснения и будет применима ко всей структуре реальности настолько, насколько последняя будет понята. В то время как все предыдущие теории относились к конкретным предметам, это будет теория всех предметов: *Теория Всего*.

Эта теория, безусловно, не будет последней в своем роде, она будет первой. В науке считается очевидным, что даже наши лучшие теории обречены быть в некотором роде несовершенными и проблематичными, и мы ожидаем, что в свое время их вытеснят более глубокие и точные теории. И этот прогресс не остановится, когда мы откроем универсальную теорию. Например, Ньютон дал нам первую универсальную теорию тяготения и объединил, помимо всего прочего, небесную и земную механику. Но его теории вытеснила общая теория относительности Эйнштейна, которая помимо этого включила в физику геометрию (которую раньше считали разделом математики) и за счет этого дает более глубокие объяснения и является более точной. Первая действительно универсальная теория — которую я буду называть Теорией Всего — подобно всем нашим теориям, которые существовали до нее и появятся после нее, не будет ни абсолютно истинной, ни бесконечно глубокой, а потому, в конечном итоге, ее заменит другая теория. Но она не будет превзойдена за счет объединения с теориями других предметов, ибо она сама будет теорией всех предметов. В прошлом значительный прогресс в понимании порой достигался за счет объединения теорий. В других случаях прогресс был вызван структурными изменениями в понимании конкретного предмета, как, например, когда мы перестали считать Землю центром Вселенной. После первой Теории Всего уже не будет значительных объединений. Все последующие великие открытия будут переменами в понимании мира в целом, то есть изменениями в нашем мировоззрении. Создание Теории Всего будет последним большим объединением и в то же время первым шагом к возникновению нового мировоззрения. Я считаю, что именно такое объединение и переход происходят сейчас. Соответствующий взгляд на мир и является темой этой книги.

Считаю своей обязанностью сразу подчеркнуть, что я говорю не просто о «теории всего», которую в скором будущем надеются открыть некоторые специалисты в области физики элементарных частиц. Их «теория всего» должна стать объединенной теорией всех основных взаимодействий, известных физике, а именно: гравитации, электромагнетизма и ядерных сил. Она также должна описать все типы существующих субатомных частиц, их массы, спины,

электрические заряды и другие свойства, а также их взаимодействия. При наличии достаточно точного описания начального состояния любой изолированной физической системы такая теория в принципе могла бы предсказать будущее поведение системы. Если точное поведение системы в силу устройства природы непредсказуемо, то теория должна описать все возможные варианты поведения системы и назвать их вероятности. На практике часто невозможно определить с высокой точностью начальное состояние интересующих нас систем, и в любом случае расчет предсказаний может быть слишком сложным во всех ситуациях, кроме простейших. Тем не менее такая объединенная теория частиц и взаимодействий вместе с указанием начального состояния Вселенной в момент Большого взрыва (события, с которого и началась наша Вселенная) в принципе будет содержать всю информацию, необходимую для предсказания всего, что можно предсказать (рис. 1.1).

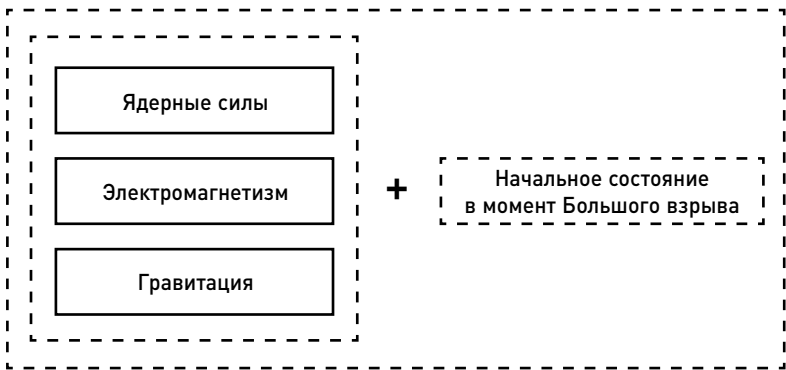


Рис. 1.1. Неадекватная концепция «теории всего»

Но предсказание — еще не объяснение. Та «теория всего», на которую так надеются физики, даже совместно с теорией начального состояния, в лучшем случае представит лишь крошечную грань истинной Теории Всего. Эта теория сможет (в принципе) *предсказать* все. Но нельзя ожидать, что она *объяснит* намного больше, чем существующие теории, за исключением немногих явлений, определяемых особенностями субатомных взаимодействий, таких как столкновения внутри ускорителей элементарных частиц

или нетривиальная история взаимопревращения частиц во время Большого взрыва. Что же побуждает ученых использовать термин «теория всего» для столь узкой, хотя и захватывающей части знания? Я полагаю — еще один ошибочный взгляд на природу науки, который осуждают многие критики науки, но (увы!) одобряют многие ученые: представление о том, что наука по существу является *редукционистской*. Да, наука как будто объясняет все путем редукции, раскладывая вещи на составляющие. Например, сопротивление стены проникновению или опрокидыванию объясняется тем, что стена — это огромный набор взаимодействующих молекул. Свойства этих молекул, в свою очередь, объясняют через составляющие их атомы и взаимодействие этих атомов друг с другом и так далее до мельчайших частиц и самых фундаментальных взаимодействий. Редукционисты считают, что все научные объяснения и, возможно, любые достаточно глубокие объяснения принимают именно такую форму.

Редукционистское мировоззрение естественным образом ведет к созданию иерархии предметов и теорий в соответствии с тем, насколько они близки к самым «низкоуровневым» из известных нам предсказательных теорий. В этой иерархии логика и математика образуют незыблемую основу, на которой строится система научных взглядов. Фундаментом должна стать редукционистская «теория всего» — универсальная теория частиц, взаимодействий, пространства и времени вместе с некоторой теорией о том, каково было начальное состояние Вселенной. Остальная физика образует первые несколько этажей. Астрофизика и химия займут более высокий уровень, геология — еще более высокий и т. д. Затем здание разделится на множество башен — предметов еще более высокого уровня, таких как биохимия, биология и генетика. На колеблющихся вершинах, уходящих в стратосферу, примостятся такие предметы, как теория эволюции, экономика, психология и информатика, которые в этой картине являются производными в почти немислимой степени.

В настоящее время мы располагаем только приближениями к редукционистской «теории всего». Они уже достаточно точно могут предсказывать законы движения отдельных субатомных частиц.

Используя эти законы, современные компьютеры могут рассчитать до определенного уровня детализации движение любой изолированной группы из нескольких взаимодействующих частиц, если известно их начальное состояние. Но даже мельчайшая крупинка вещества, видимая невооруженным глазом, содержит триллионы атомов, каждый из которых состоит из множества субатомных частиц и непрерывно взаимодействует с внешним миром, так что предсказать поведение этой крупинки через поведение образующих ее частиц не представляется возможным. Дополняя точные законы движения различными приближенными схемами, мы можем предсказать некоторые аспекты общего поведения достаточно крупных объектов, например, температуру плавления или кипения данного химического соединения. Большая часть химии сводится таким образом к физике. Но для наук более высокого уровня программа редуccionистов — всего лишь дело принципа. Никто на самом деле не собирается выводить многочисленные принципы биологии, психологии или политики из принципов физики. Причина, по которой предметы более высокого уровня вообще поддаются изучению, состоит в том, что в определенных условиях непостижимо сложное поведение огромного количества частиц становится основной простоты и понятности. Это называется *эмерджентностью*, то есть проявлением: высокоуровневая простота как бы проявляется из низкоуровневой сложности. Явления высокого уровня, относительно которых мы имеем понятные факты и не можем просто вывести их из низкоуровневых теорий, называются *эмерджентными явлениями*. Например, стена могла быть крепкой, потому что ее строители боялись, что их враги могут попытаться проломить эту стену. Это высокоуровневое объяснение прочности стены невыводимо из низкоуровневого объяснения, которое я привел выше (хотя и не является несовместимым с ним). «Строители», «враги», «боялись», «попытаться» — это эмерджентные явления. Цель высокоуровневых наук — дать нам возможность понять эмерджентные явления, самыми важными из которых, как мы увидим, являются *жизнь, мысль и вычисление*.

Кстати, противоположностью редуccionизма является *хололизм* — идея о том, что единственно законными являются объяс-

нения через системы высокого уровня, — и она еще более ошибочна, чем редукционизм. Чего ожидают от нас холисты? Того, что мы прекратим наши поиски молекулярного происхождения болезней? Или станем отрицать, что люди состоят из субатомных частиц? Там, где существуют редукционистские объяснения, они столь же желанны, как любые другие. Там, где целые научные дисциплины удается свести к низкоуровневым теориям, мы, ученые, в той же мере обязаны найти эти упрощения, как и обязаны открывать любое другое знание.

Редукционист считает, что цель науки — разложить все на составляющие. По мнению инструменталиста, все дело в способности предсказывать события. Для каждого из них существование наук высокого уровня — лишь вопрос удобства. Сложность мешает нам использовать элементарную физику для получения высокоуровневых предсказаний, и вместо этого мы угадываем, каковы были бы эти предсказания, если бы мы могли их получить, и эмерджентность дает нам шанс на успех. Утверждается, что именно в этом заключается смысл высокоуровневых наук. Таким образом, для редукционистов и инструменталистов, которые игнорируют как истинное устройство, так и истинную цель научного знания, основой предсказательной иерархии физики является, по определению, «теория всего». Но для всех остальных научное знание состоит из объяснений, а структура научного объяснения не отражает иерархию редукционистов. Объяснения существуют на каждом уровне иерархии. Многие из них автономны и относятся только к понятиям данного уровня (например, «медведь съел мед, потому что был голоден»). Многие содержат дедуктивные выводы, направление которых противоположно направлению редукционистских объяснений. То есть они объясняют вещи, не разделяя их на меньшие и более простые, а рассматривают их как составляющие более крупных и сложных вещей, для которых у нас, тем не менее, есть объяснительные теории. Например, рассмотрим конкретный атом меди на кончике носа статуи сэра Уинстона Черчилля, которая находится на Парламентской площади в Лондоне. Я попытаюсь объяснить, почему этот атом меди находится там. Это произошло потому, что Черчилль был премьер-министром в Палате общин, которая расположена непо-

далеку; и потому, что его идеи и лидерство способствовали победе союзных сил во Второй мировой войне; и потому, что принято чествовать таких людей, ставя им памятники; и потому, что бронза, традиционный материал для таких памятников, содержит медь и т. д. Таким образом, мы объясним физическое низкоуровневое наблюдение — присутствие атома меди в определенном месте — через теории чрезвычайно высокого уровня о таких эмерджентных явлениях, как идеи, руководство, война и традиция.

Нет никакой причины, по которой, пусть даже в принципе, должно существовать какое-либо более низкоуровневое *объяснение* появления этого атома меди в этом месте, чем то, которое я только что привел. По-видимому, редукционистская «теория всего» в принципе могла бы дать низкоуровневое *предсказание* вероятности, что такая статуя будет существовать, если известно состояние (скажем) Солнечной системы в какое-то более раннее время. Точно так же эта теория в принципе описала бы, как эта статуя могла туда попасть. Но такие описания и предсказания (конечно же, абсолютно нереальные) ничего бы не объясняли. Они просто описывали бы траекторию движения каждого атома меди от медного рудника через плавильную печь, мастерскую скульптора и т. д. Они также могли бы указать, какое влияние на эти траектории оказывают силы, действующие со стороны окружающих атомов, например, тех, из которых состоят тела шахтеров и скульптора, и предсказать таким образом существование и форму статуи. В действительности в такое предсказание пришлось бы включить атомы по всей планете, вовлеченные, кроме всего прочего, в сложное движение, которое мы называем Второй мировой войной. Но даже если бы вы обладали сверхчеловеческой способностью проследить такие пространственные предсказания нахождения атома меди в том месте, вы все равно не смогли бы сказать: «Да, теперь я понимаю, почему он там находится». Вы просто знали бы, что его попадание туда таким образом неизбежно (или вероятно, или как угодно еще), если известны начальные конфигурации атомов и законы физики. Если бы вы захотели понять, почему он там находится, у вас по-прежнему не было бы другого выбора, кроме как сделать следующий шаг. Вам пришлось бы выяснить все, что касается этой конфигурации

атомов и тех траекторий, которые способствуют попаданию атома меди именно в это место. Такое исследование стало бы творческой задачей, какой всегда является открытие новых объяснений. Вы бы обнаружили, что определенные конфигурации атомов обеспечивают такие эмерджентные явления, как лидерство и война, связанные друг с другом высокоуровневыми объяснительными теориями. И только узнав все эти теории, вы смогли бы полностью понять, почему этот атом меди находится именно там.

В редукционистском мировоззрении законы, управляющие взаимодействием субатомных частиц, имеют первостепенную значимость, поскольку они являются основой иерархии всего знания. Но в реальной структуре научного знания и в структуре нашего знания в целом такие законы играют гораздо более скромную роль.

Какова же эта роль? Мне кажется, что ни одна из рассматривавшихся до сих пор теорий-кандидатов на звание «теории всего» не содержит большой новизны в способе объяснения. Возможно, самый передовой подход с объяснительной точки зрения — это *теория суперструн*, в которой элементарными строительными блоками материи являются протяженные объекты, «струны», а не точечные частицы. Но ни один существующий подход не предлагает нового способа объяснения — нового в том смысле, в каком новым было объяснение Эйнштейном сил притяжения на основе искривленного пространства и времени. На самом деле ожидается, что «теория всего» унаследует практически всю объяснительную структуру существующих теорий электромагнетизма, ядерных сил и гравитации: их физические концепции, их язык, их математическое описание и форму их объяснений. Поэтому мы видим в этой базовой структуре, которая нам уже известна из существующих теорий, вклад фундаментальной физики в наше общее понимание.

В физике существует две теории, значительно более глубокие, чем остальные. Первая — это общая теория относительности, которая, как я уже говорил, является нашей лучшей теорией пространства, времени и гравитации. Вторая — еще более глубокая — это *квантовая теория*. Эти две теории (но никакая из существующих или ожидаемых теорий субатомных частиц) создают подробную объяснительную и формальную концептуальную основу, в рамках

которой выражаются все остальные теории современной физики, и содержат основные физические принципы, которым подчиняются все прочие теории. Объединение общей теории относительности и квантовой теории — с целью получения *квантовой теории гравитации* — было на протяжении нескольких десятилетий основным предметом поисков физиков-теоретиков. Оно должно было стать частью любой теории всего, как в узком, так и в широком смысле этого термина. Как мы увидим в следующей главе, квантовая теория, как и теория относительности, дает революционно новый способ объяснения физической реальности. Причина, по которой квантовая теория глубже теории относительности, лежит большей частью не в физике, а вне ее, поскольку ее следствия простираются далеко за пределы физики и даже за пределы самой науки в привычном ее понимании. Квантовая теория является одной из *четырёх основных нитей*, образующих наше современное понимание структуры реальности.

Прежде чем назвать три другие нити, я должен упомянуть еще один способ искажения редукционизмом структуры научного знания. Редукционизм предполагает не только то, что объяснение всегда состоит в разделении системы на меньшие и более простые системы, но и то, что все поздние события объясняются через более ранние; другими словами, единственный способ что-то объяснить — это указать причины. А это подразумевает, что, чем раньше произошли события, на основе которых мы что-то объясняем, тем лучше объяснение, так что в конечном счете все лучше объяснять на основе первоначального состояния Вселенной.

«Теория всего», исключая характеристику первоначального состояния Вселенной, не является полным описанием физической реальности, потому что она дает только законы движения; а законы движения сами по себе порождают лишь условные предсказания. То есть они никогда не дают однозначных утверждений о том, что происходит, а лишь о том, что произойдет в заданный момент времени, если известно, что происходило раньше. Только если известна полная характеристика начального состояния, в принципе можно вывести полное описание физической реальности. Существующие космологические теории не дают полной характеристики

начального состояния даже в принципе, но они утверждают, что изначально Вселенная была очень маленькой, очень горячей и очень однородной по своей структуре. Но мы также знаем, что Вселенная не могла иметь абсолютно однородную структуру, потому что это будет несовместимо (в соответствии с теорией) с тем распределением галактик, которые мы наблюдаем сегодня на небе. Первоначальные вариации плотности, или «комковатость» материи, должны были значительно усилиться под действием гравитации — относительно более плотные участки собирали больше материи и становились более плотными, так что сначала эти вариации могли быть очень слабыми. Но какими бы маленькими они ни были, они имеют огромное значение для любого редукционистского описания реальности, потому что почти все, что мы наблюдаем вокруг, — от распределения звезд и галактик в небе до появления бронзовых статуй на планете Земля — с точки зрения фундаментальной физики является следствием этих вариаций. Если наше редукционистское описание стремится охватить нечто большее, чем самые важные свойства наблюдаемой вселенной, нам нужна теория, которая описывает эти исключительно важные первоначальные отклонения от однородности.

Я попытаюсь заново сформулировать последнее требование без редукционистского уклона. Законы движения любой физической системы дают только условные предсказания и, следовательно, совместимы со многими возможными историями этой системы. (Этот вопрос не имеет отношения к ограничениям на предсказуемость, которые накладывает квантовая теория и о которых я расскажу в следующей главе). Например, законы движения, которым подчиняется ядро, выпущенное из пушки, совместимы со многими возможными траекториями, каждая из которых соответствует одному из возможных направлений и углов наклона ствола пушки при выстреле (рис. 1.2). Математически законы движения можно выразить системой уравнений, которые называют *уравнениями движения*. Существует много различных решений этих уравнений, каждое из которых описывает какую-то возможную траекторию. Чтобы определить, какое решение описывает фактическую траекторию, необходимо предоставить *дополнительные данные* — не-

которую информацию о том, что происходит в действительности. Один из способов осуществить это заключается в описании начального состояния, в данном случае направления ствола пушки. Однако существуют и другие способы. Например, мы точно так же могли бы определить конечное состояние — положение и направление движения пушечного ядра в момент его приземления. Или мы могли бы определить положение самой высокой точки траектории. Неважно, какие именно дополнительные данные мы даем, если они позволяют выбрать одно конкретное решение системы уравнений движения. Объединение любых дополнительных данных такого рода с законами движения и дает теорию, которая описывает все, что происходит с пушечным ядром между моментами выстрела до падения.

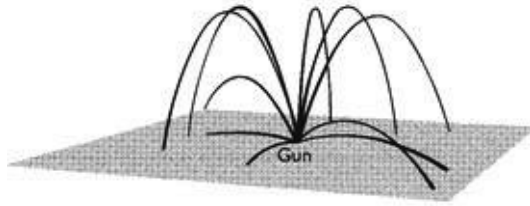


Рис. 1.2. Некоторые возможные траектории движения пушечного ядра. Каждая траектория совместима с законами движения, но только одна из них относится к некоторому конкретному случаю.

Сходным образом законы движения для физической реальности в целом будут иметь много решений, каждое из которых соответствует конкретной истории. Для завершения описания нам придется указать, какой вариант истории произошел в действительности, предоставив достаточно дополнительных данных для выбора одного из многих решений уравнений движения. В простых космологических моделях одним из способов указать такие данные является определение начального состояния Вселенной. Но мы могли бы вместо этого определить конечное состояние или состояние в любой другой момент времени; или мы могли бы предоставить некоторую информацию о начальном состоянии, какую-то информацию о конечном состоянии и сообщить кое-что о промежуточных состо-

яниях. В общем, объединив достаточное количество дополнительных данных разного рода с законами движения, мы получили бы, в принципе, описание физической реальности.

Для пушечного ядра, как только мы определим, скажем, его конечное состояние, мы сможем легко вычислить его начальное состояние, и наоборот, поэтому между различными методами указания дополнительных данных не существует практической разницы. Однако для Вселенной в целом большая часть таких вычислений очень трудна. Я уже говорил, что мы предполагаем существование «комковатости» материи в начальных состояниях на основании сегодняшних наблюдений неоднородности Вселенной. Но это исключение: большая часть нашего знания о дополнительных данных — о том, что именно происходит, — существует в форме высокоуровневых теорий эмерджентных явлений и, следовательно, по определению не поддается практическому выражению в виде утверждений о начальном состоянии. Например, в большей части решений уравнений движения Вселенная в своем начальном состоянии не обладает свойствами, необходимыми для появления жизни. Следовательно, наше знание того, что жизнь *появилась*, — это значительная часть дополнительных данных. Возможно, мы никогда не узнаем, что конкретно означает это ограничение для детальной структуры Большого взрыва, но мы можем делать выводы непосредственно из него. Например, первая точная оценка возраста Земли была сделана на основе биологической теории эволюции, и она противоречила лучшим физическим теориям того времени. Только редукционистское предубеждение могло заставить нас считать, что эти рассуждения были почему-то менее обоснованными или что в общем случае теоретизирование о начальном состоянии является более «фундаментальным», чем об эмерджентных чертах реальности.

Даже в области фундаментальной физики идея о том, что теории начального состояния содержат наши самые глубокие знания, является серьезным заблуждением. Одна из причин этого состоит в том, что она логически исключает возможность объяснения самого начального состояния: почему начальное состояние было таким, каким оно было, — однако в действительности у нас есть объяснения

многих аспектов начального состояния. В еще более общей форме: никакая теория *времени*, по-видимому, не может объяснить это через то, что было «раньше»; тем не менее у нас есть глубокие объяснения природы времени, вытекающие из общей теории относительности и в еще большей мере из квантовой теории (см. главу 11).

Таким образом, характер многих наших описаний, предсказаний и объяснений реальности не имеет ничего общего с картиной «начальное состояние плюс законы движения», к которой приводит редукционизм. Не существует причины рассматривать теории высокого уровня как «граждан второго сорта». Наши теории субатомной физики и даже квантовая теория или теория относительности вовсе не являются привилегированными по отношению к теориям, описывающим эмерджентные свойства. Вероятно, ни одна из этих областей знания не сможет включить все остальные. Каждая из них содержит логические следствия для остальных, однако не все эти выводы можно сформулировать, поскольку они являются эмерджентными свойствами из области действия других теорий. В действительности неправильно употреблять сами термины «высокий уровень» и «низкий уровень». Законы биологии, например, являются высокоуровневыми эмерджентными следствиями законов физики. Но логически некоторые законы физики являются «эмерджентными» следствиями законов биологии. Могло быть даже и так, что законы, которым подчиняются биологические и другие эмерджентные явления, полностью определяли бы законы фундаментальной физики. В любом случае, когда две теории логически связаны между собой, логика не диктует нам, какую из них рассматривать как определяющую для второй в целом или частично. Это зависит от объяснительных отношений между теориями. Особое положение занимают не те теории, которые ссылаются на конкретную шкалу размеров или сложности, и не те, которые расположены на определенном уровне предсказательной иерархии, а те, которые содержат самые глубокие объяснения. Структура реальности состоит не только из редукционистских ингредиентов, таких как пространство, время и субатомные частицы, — но и из жизни, мысли, вычислений и многого другого, к чему относятся эти объяснения. Теория становится более фундаментальной и менее производной

не из-за своей близости к якобы существующей предсказательной базе физики, а из-за своей близости к нашим самым глубоким объяснительным теориям.

Квантовая теория, как я уже говорил, является одной из таких теорий. Три другие основные нити объяснения, через которые мы стремимся понять структуру реальности, относятся к «высокому уровню» с точки зрения квантовой теории. Это *теория эволюции* (главным образом эволюции живых организмов), *эпистемология* (теория познания) и *теория вычисления* (о вычислительных машинах и о том, что они могут вычислить, а чего не могут). Как вы увидите, между основными принципами этих четырех, на первый взгляд, независимых предметов были обнаружены такие глубокие и разнообразные связи, что уже невозможно наилучшим образом понять один из них, не понимая три оставшихся. Все четыре формируют связную объяснительную структуру, которая имеет настолько обширную сферу применимости и охватывает столь значительную часть нашего понимания мира, что, на мой взгляд, ее уже можно справедливо назвать первой настоящей Теорией Всего. Таким образом, мы подошли к знаменательному моменту в истории идей — моменту, когда масштаб нашего понимания становится в полной мере универсальным. До настоящего времени все понимаемое нами касалось того или иного аспекта реальности, не характерного для целого. В будущем понимание охватит общую концепцию реальности: все объяснения будут пониматься на фоне универсальности, а каждая новая идея будет автоматически стремиться освещать не только конкретный предмет, но в различной степени все предметы. Углубление понимания, которое мы в конечном итоге получим от этого последнего великого объединения, может значительно превзойти то, что принесло любое из предыдущих объяснений. Мы увидим, что здесь объединяется и объясняется не только физика и не только наука, но и, в потенциале, весьма далекие области философии, логики и математики, этики, политики и эстетики — возможно, все, что мы понимаем в настоящее время, а может быть, и многое из того, что мы еще не понимаем.

Какой же тогда вывод я адресую себе-ребенку, который отвергал идею о том, что рост знания делает мир менее понятным? Я согла-

шусь с ним, хотя сейчас я считаю, что важно не то, может ли одна из особей нашего конкретного вида понять все то, что понимает весь вид. Важно то, действительно ли едина и понятна сама структура реальности. Есть веская причина считать, что это так. Будучи ребенком, я просто знал это: сейчас я могу это объяснить.

Терминология

Эпистемология — учение о природе знания и процессах, которые его создают.

Объяснение — (грубо) утверждение о природе и причинах вещей.

Инструментализм — система взглядов, в соответствии с которой целью научной теории является предсказание результатов экспериментов.

Позитивизм — крайняя форма инструментализма, строящаяся на тезисе, что все утверждения, за исключением тех, которые что-либо описывают или предсказывают, не имеют смысла. (Этот взгляд сам не имеет смысла по своим же критериям.)

Редуктивное объяснение — это объяснение, которое раскладывает все вещи на составляющие более низкого уровня.

Редукционизм — система взглядов, в соответствии с которой научные объяснения по природе своей являются редуктивными.

Холизм — идея о том, что обоснованными являются только объяснения, сделанные на основе систем более высокого уровня; противоположность редукционизма.

Эмерджентность — эмерджентным называется такое явление (например, жизнь, мысль или вычисление), относительно которого существуют понятные факты или объяснения, которое не выводится просто из низкоуровневой теорий низкого уровня, но которое можно объяснить или предсказать на базе высокоуровневой теории, относящейся непосредственно к этому явлению.

Резюме

Научное знание, как и все человеческое знание, состоит главным образом из объяснений. Факты можно посмотреть в справочнике,

предсказания важны только при проведении решающих экспериментов для выбора между конкурирующими научными теориями, каждая из которых уже прошла проверку в качестве хорошего объяснения. По мере того, как новые теории вытесняют старые, наше знание становится как шире (когда появляются новые предметы), так и глубже (когда наши фундаментальные теории объясняют больше и становятся более обобщенными), причем глубина побеждает. Таким образом, мы не удаляемся от того состояния, когда один человек сможет понять все, что понято, а приближаемся к нему. Наши самые глубокие теории настолько переплетаются друг с другом, что их можно понять только совместно, как единую теорию объединенной структуры реальности. Эта Теория Всего имеет гораздо больший масштаб, чем та «теория всего», которую ищут специалисты в области физики элементарных частиц, потому что структура реальности состоит не только из таких редукционистских ингредиентов, как пространство, время и субатомные частицы, но также, например, из жизни, мысли и вычисления. *Четыре основные нити объяснения*, которые могут составить первую Теорию Всего, — это:

квантовая физика — см. главы 2, 9, 11–14;

эпистемология — см. главы 3, 4, 7, 10, 13, 14;

теория вычислений — см. главы 5, 6, 9, 10, 13, 14;

теория эволюции — см. главы 8, 13, 14.

Следующая глава посвящена первой и самой важной из четырех нитей — квантовой физике.

2

Тени

Рассмотрение физических явлений, происходящих при горении свечи, представляет собой самый широкий путь, которым можно подойти к изучению естествознания.

Майкл Фарадей.

Курс из шести лекций по химической истории свечи¹

В своих знаменитых научных лекциях в Королевском институте Майкл Фарадей всегда побуждал своих слушателей изучать мир, рассматривая, что происходит при горении свечи. Я заменяю свечу электрическим фонариком. Это правомерно, поскольку устройство электрического фонарика во многом основано на открытиях Фарадея.

Я опишу несколько экспериментов, которые демонстрируют явления, лежащие в основе квантовой физики. Такого рода эксперименты со множеством вариантов и уточнений уже многие годы остаются основой существования квантовой оптики. Об их результатах не спорят, однако даже сейчас в некоторые из них трудно поверить. Базовые эксперименты удивительно просты. Они в сущности не требуют ни специализированных научных инструментов, ни больших познаний в математике или физике, потому что они заключаются всего лишь в отбрасывании теней. Обычный элек-

¹ Цит. по: Фарадей М. История свечи. — М.: Наука, 1980. — Прим. ред.

трический фонарик может производить весьма странные картины света и тени. Если о них как следует подумать, обнаруживаются исключительной важности следствия. Чтобы объяснить их, нужны не просто новые физические законы, а новый *уровень* описания и объяснения, выходящий за пределы того, что раньше считали сферой науки. Прежде всего, эти картины открывают существование параллельных вселенных. Как это возможно? Какая мыслимая картина теней может повлечь за собой подобные выводы?

Представьте себе, что в темной комнате, где нет других источников света, включили электрический фонарик. Нить накала лампочки испускает свет, который расширяется, образуя конус. Чтобы не усложнять эксперимент отраженным светом, стены комнаты должны быть матово-черными, полностью поглощающими свет. Или, поскольку мы проводим эти эксперименты только в своем воображении, можно представить себе комнату астрономических размеров, чтобы свет не успевал достичь стен и вернуться до завершения эксперимента. Рис. 2.1 иллюстрирует данный опыт. Но этот рисунок кое в чем не соответствует действительности: если бы мы

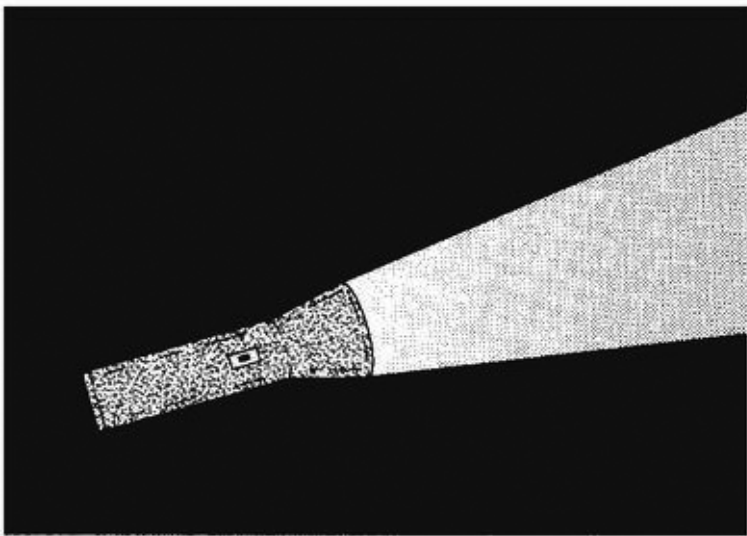


Рис. 2.1. Свет от электрического фонарика

смотрели на фонарик со стороны, то не увидели бы ни его самого, ни испускаемого им света. Невидимость — одно из наиболее понятных свойств света. Мы видим свет лишь тогда, когда он попадает в наши глаза (хотя мы обычно говорим о том, что видим объект, находящийся на линии нашего зрения, который последним повлиял на этот свет).

Мы не можем увидеть свет, который просто проходит мимо. Если бы в луче оказался отражающий объект или даже пыль или капельки воды, чтобы рассеять свет, мы увидели бы, где он проходил. Но поскольку в луче ничего нет и мы смотрим на него извне, никакая часть его света нас не достигает. Точным представлением того, что мы должны увидеть, была бы абсолютно черная картинка. Если бы там был второй источник света, мы могли бы увидеть фонарик, но опять же не его свет. Лучи света, даже самого интенсивного света, который мы можем получить (с помощью лазеров), проходят друг сквозь друга, как если бы на их пути вовсе ничего не было.

На рис. 2.1 видно, что около фонарика свет наиболее яркий, а по мере удаления от него свет тускнеет, так как луч расширяется, чтобы осветить все большую площадь. Наблюдателю, находящемуся внутри луча и удаляющемуся от фонарика спиной вперед, рефлектор будет казаться все меньше, а затем, когда он станет выглядеть точкой — все слабее. Но нет ли тут подвоха? Действительно ли свет способен распространяться беспредельно все более и более тонкими лучами? Ответ: нет. На расстоянии примерно 10 000 км свет фонарика станет слишком слабым, чтобы человеческий глаз мог его различить, и наблюдатель ничего не увидит. То есть человек не увидит ничего; а животное с более чувствительным зрением? Глаз лягушки в несколько раз чувствительнее человеческого: этого как раз достаточно, чтобы эксперимент принес существенно иной результат. Если наблюдателем будет лягушка и она будет удаляться от электрического фонарика, момент, когда она полностью потеряет его из вида, никогда не наступит. Вместо этого лягушка увидит, что фонарик начал мигать. Вспышки будут видны через неравные промежутки времени, которые будут увеличиваться по мере удаления лягушки от фонарика. А вот яркость каждой отдельной вспышки не будет меньше. На расстоянии 100 млн км от фонарика

лягушка будет видеть в среднем только одну вспышку света в день, но эта вспышка будет столь же яркой, как и наблюдаемая с любого другого расстояния.

К сожалению, лягушки не могут рассказать нам, что они видят. Поэтому при проведении реальных экспериментов мы используем фотоумножители (датчики света, чувствительность которых превышает чувствительность глаз лягушки), а вместо того, чтобы смотреть с расстояния в 100 млн км, ослабляем свет, пропуская его через темные фильтры. Однако принцип остается тем же самым, как и результат: не полная темнота и не однородный тусклый свет, а мигание, причем вспышки — одинаково яркие, независимо от того, насколько темный фильтр мы используем. Это мерцание показывает, что существует предел равномерного «растягивания» света. Пользуясь терминологией ювелиров, можно сказать, что свет не является бесконечно «ковким». Подобно золоту, небольшое количество света можно равномерно распределить по очень большой площади, но в конечном итоге, если попытаться растянуть его еще сильнее, он станет комковатым. Даже если можно как-нибудь предотвратить группирование атомов золота в отдельные комки, существует предел, за которым атомы уже нельзя разделить без того, чтобы золото не перестало быть золотом. Поэтому единственный способ сделать золотой лист толщиной в один атом еще тоньше — расположить атомы дальше друг от друга, чтобы между ними было пустое пространство. Но когда эти атомы окажутся достаточно далеко друг от друга, уже нельзя будет считать, что они образуют сплошной лист. Например, если каждый атом золота будет находиться в среднем на расстоянии нескольких сантиметров от своего ближайшего соседа, можно будет провести рукой через этот «лист», не прикасаясь к золоту вообще.

Точно так же существует минимальный кусочек или «атом» света — *фотон*. Каждая вспышка, которую видит лягушка, вызвана фотоном, воздействующим на сетчатку ее глаза. Когда луч света становится слабее, фотоны сами по себе не ослабевают, но они отдаляются друг от друга, и между ними появляется пустое пространство (рис. 2.2). Очень слабый луч уже неправомерно называть «лучом», поскольку он не является непрерывным. Когда лягушка

ничего не видит, это происходит не потому, что свет, попадающий в ее глаза, слишком слаб, чтобы воздействовать на сетчатку, а потому, что никакого света в ее глаза не попадает.

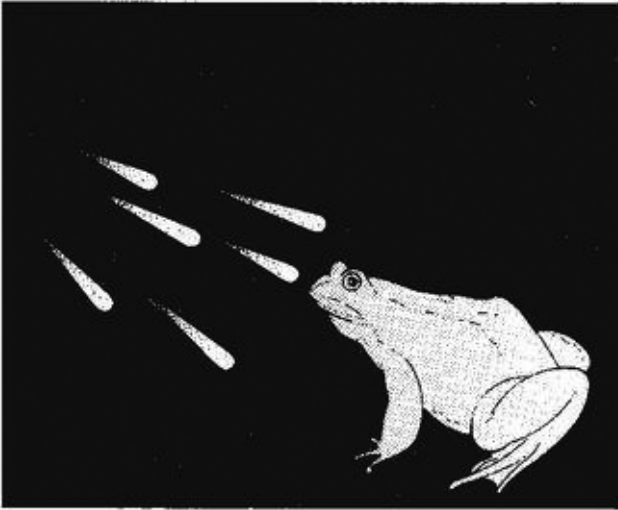


Рис. 2.2. Лягушки могут видеть отдельные фотоны

Это свойство — появляться лишь в виде кусочков дискретных размеров — называется *квантованием*. Отдельный комочек, например фотон, называется *квантом*. Квантовая теория получила свое название от этого свойства, которое она приписывает всем измеримым физическим величинам, а не только таким, которые, подобно количеству света или массе золота, квантуются из-за того, что соответствующие сущности на самом деле состоят из частиц, хотя и выглядят непрерывными. Даже для такой величины, как расстояние (например, между двумя атомами), представление о непрерывном диапазоне возможных значений оказывается идеализацией. В физике не существует измеримых непрерывных величин. В квантовой физике появляется множество новых эффектов, и, как мы увидим, квантование среди них является одним из простейших. Однако в некотором смысле оно остается ключом ко всем остальным явлениям, поскольку, если все квантуется, каким образом некая вели-

чина изменяет свое значение с одного на другое? Как объект попадает из одного *места* в другое, если не существует непрерывного диапазона промежуточных положений, где он может находиться по пути? В главе 9 я объясню, как это происходит, но сейчас позвольте мне отложить этот вопрос на некоторое время и вернуться в окрестности нашего фонарика, где луч выглядит непрерывным, потому что каждую секунду он направляет около 10^{14} (10 трлн) фотонов в глаз, который на него смотрит.

Является ли граница между светом и тенью резкой, или существует некая «серая зона»? Обычно существует довольно широкая серая область, и одна из причин ее существования показана на рис. 2.3. Есть темная область (называемая *полной тенью*), куда вообще не доходит свет от нити накала. Есть также полностью освещенная область, которая может получать свет от любого участка нити накала. Но поскольку нить накала не является геометрической точкой, а имеет определенные размеры, между освещенной и неосвещенной областью также присутствует *полутень* — область, которая может получать свет только от некоторых участков нити накала. Если смотреть из области полутени, то видна лишь часть нити накала, и освещенность окажется меньше, чем в полностью освещенной области.

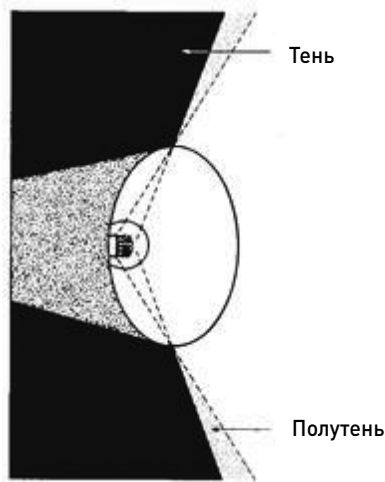


Рис. 2.3. Полная тень и полутень

Однако размер нити накала — не единственная причина того, почему фонарик отбрасывает полутени. Различное влияние на свет оказывают рефлектор, расположенный позади лампочки, стеклянный колпак фонарика, разные швы и дефекты и т. д. Так что мы ожидаем появления сложной светотеневой картины просто потому, что сам фонарик сложен. Но случайные особенности фонариков не являются предметом наших экспериментов. За вопросом о свете фонарика скрывается более фундаментальный вопрос о свете вообще: существует ли, в принципе, некий предел того, сколь резкой может быть тень (другими словами, насколько узкой может быть полутень)? Например, если фонарик сделать из абсолютно черного (неотражающего) материала и использовать все меньшего размера нити накала, возможно ли сужать полутень беспредельно?

Глядя на рис. 2.3, кажется, что это возможно: если бы нить накала не имела размера, не было бы полутени. Но на рисунке я сделал некоторое допущение относительно света, а именно, что свет распространяется только прямолинейно. Из повседневного опыта нам известно, что это так и есть, поскольку заглядывать за угол мы не умеем. Однако тщательные эксперименты показывают, что свет не всегда движется по прямой. При некоторых обстоятельствах он искривляется.

Это трудно продемонстрировать с помощью одного лишь фонарика, потому что сложно делать крошечные нити накала и очень черные поверхности. Эти практические сложности скрывают те пределы, которые фундаментальная физика накладывает на резкость теней. К счастью, искривление света можно продемонстрировать и иначе. Предположим, что свет фонарика проходит через два последовательных маленьких отверстия в светонепроницаемых экранах, как показано на рис. 2.4, и что свет падает затем на третий экран. Вопрос состоит в следующем: если этот эксперимент повторять, уменьшая диаметр отверстий и увеличивая расстояние между первым и вторым экранами, будет ли полная тень (область абсолютной темноты) сужаться безгранично, пока не превратится в прямую линию между центрами двух отверстий? Может ли освещенная область между вторым и третьим экраном быть ограни-

чена произвольно узким конусом? Говоря языком ювелиров, сейчас мы спрашиваем что-то вроде того, «насколько пластичен свет», насколько тонка нить, в которую можно его растянуть. (Из золота можно получить нити толщиной в 0,0001 мм.)

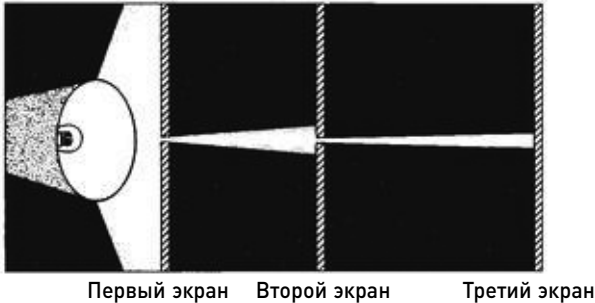


Рис. 2.4. Получение узкого луча света, проходящего через два последовательных отверстия

Оказывается, что свет не так пластичен, как золото! Задолго до того, как диаметр отверстий приблизится к десяти тысячной доле миллиметра, а в действительности уже при диаметре отверстий около одного миллиметра свет начинает заметно возмущаться. Вместо того чтобы проходить через отверстия по прямым линиям, свет не желает оставаться в ограниченном пространстве и расплзается позади каждого отверстия. И, расплзаясь, он «растрепывается». Чем меньше диаметр отверстия, тем сильнее свет уклоняется от прямолинейного пути. Появляются сложные картины света и тени. На третьем экране мы уже видим не освещенную и темную области с полутенью между ними, а концентрические кольца разной толщины и яркости. Кроме того, там присутствует цвет, так как белый свет является смесью фотонов разных цветов, каждый из которых распространяется и рассеивается немного по-своему. На рис. 2.5 показана типичная картина, которую может образовать на третьем экране белый свет, пройдя через отверстия в первых двух экранах. Напоминаю, здесь не происходит ничего, кроме отбрасывания тени! Рис. 2.5 — это всего лишь тень, отброшенная вторым экраном, изображенным на рис. 2.4. Если бы свет распро-

странялся только прямолинейно, появилась бы только крошечная белая точка (гораздо меньше, чем яркое пятно в центре рис. 2.5), окруженная очень узкой полутенью. Все остальное было бы полной тенью — совершенной темнотой.

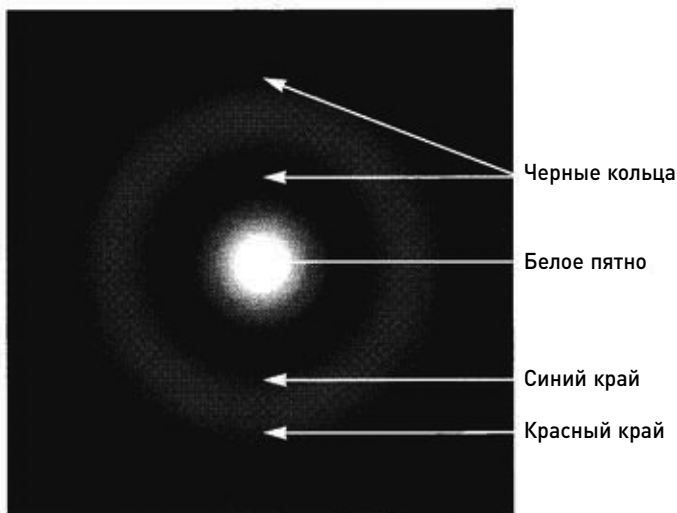


Рис. 2.5. Картина света и тени, образованная белым светом после прохождения через маленькое круглое отверстие

Как бы ни озадачивало искривление лучей света при прохождении через маленькие отверстия, я не вижу в этом фундаментальной проблемы. В любом случае для наших настоящих целей важно то, что свет действительно искривляется. Это означает, что тени не должны выглядеть как силуэты предметов, которые их отбрасывают. Более того, дело даже не в размывании изображения, вызванном полутенью. Оказывается, перегородка со сложной картиной отверстий может отбрасывать тень совершенно другой формы!

На рис. 2.6 показана примерно в натуральную величину часть картины теней, создаваемой на расстоянии 3 м двумя прямыми параллельными щелями в светонепроницаемой перегородке. Щели находятся на расстоянии 0,2 мм друг от друга и освещаются нерас-

ходящимся красным лучом лазера, расположенного по другую сторону перегородки. Почему используется свет лазера, а не электрического фонарика? Только потому, что точная форма тени также зависит и от цвета света, который ее производит. Белый свет фонарика содержит весь спектр видимых цветов, поэтому он может отбрасывать тени с многоцветными краями. Поэтому для экспериментов, смысл которых в получении точной формы тени, лучше использовать свет одного цвета. Можно поместить перед фонариком цветной фильтр (например, пластину из цветного стекла), чтобы через него проходил свет только одного цвета. Это помогло бы, но фильтры выделяют его не слишком аккуратно. Лучше воспользоваться светом лазера, поскольку лазер можно очень точно настроить на испускание света совершенно конкретного цвета почти без примеси других¹.

Если бы свет распространялся прямолинейно, то на рис. 2.6 мы бы увидели две ярких полосы с резкими границами, расположенные на расстоянии 0,2 мм друг от друга (что было бы невозможно увидеть в таком масштабе), а остальная часть экрана осталась бы в тени. Но в действительности свет искривляется так, что образует много ярких и темных полос без резких границ. Если щели сдвинуть вбок так, чтобы они оставались в пределах лазерного луча, то и картина на экране сдвинется на столько же. В этом отношении она ведет себя как обычная тень, отбрасываемая крупным предметом. Хорошо, а какую тень мы получим, если прорежем в перегородке еще пару таких же щелей, сдвинув их на половину расстояния между первыми двумя, так что получится четыре щели, разделенные расстоянием в 0,1 мм? Можно было бы ожидать, что картина будет выглядеть почти так же, как и изображенная на рис. 2.6. Как-никак первая пара щелей отбрасывает тени, показанные на рис. 2.6, и, как я уже сказал, вторая пара щелей должна произвести подобную картину тени, сдвинутую в сторону на 0,1 мм — то есть почти на том же самом месте. Кроме того, мы знаем, что лучи света обычно проходят друг сквозь друга, не претерпевая изменений. Так

¹ Такой свет называется монохроматическим. Длина его волны зависит от активного вещества данного лазера. — *Прим. ред.*

что две пары щелей, казалось бы, должны дать ту же самую картину, но в два раза ярче и чуть более размытую.



Рис. 2.6. Тень, отбрасываемая перегородкой с двумя прямыми параллельными щелями

В действительности происходит нечто совершенно иное. Реальная картина теней, отбрасываемых перегородкой с четырьмя прямыми параллельными щелями, показана на рис. 2.7 (а). Для сравнения ниже я снова привожу рисунок тени от перегородки с двумя щелями — рис. 2.7 (b). Мы видим, что тень от четырех щелей представляет собой отнюдь не комбинацию двух слегка смещенных теней от двух щелей, а имеет новую и более сложную структуру. В этой картине есть участки, вроде тех, что помечены знаком X, которые не освещены на картине тени от четырех щелей, но освещены на картине тени от двух щелей. Эти участки были яркими при наличии в перегородке двух щелей, но *стали темными*, когда в перегородке прорезали еще две щели, пропускающие свет. Появление этих щелей *помешало*¹ попаданию света в зону X.

Таким образом, появление еще двух источников света затемняет зону X, а их удаление снова освещает ее. Каким образом? Можно представить себе, как два фотона направляются к зоне X и отскакивают друг от друга, как бильярдные шары. Любой из двух фотонов, будь он один, попал бы в зону X, но они мешали друг другу и оба ушли куда-то в другие места. Скоро я покажу, что это объяснение не может быть истинным. Тем не менее от основной идеи этого объяснения уйти невозможно: через вторую пару щелей должно

¹ В оригинале использовано слово «interfered», от которого происходит термин «интерференция», означающий явление, объясняющее наблюдаемые эффекты. — Прим. ред.

проходить *что-то*, препятствующее попаданию света из первой пары щелей в зону X. Но что же? Это мы можем выяснить с помощью дальнейших экспериментов.

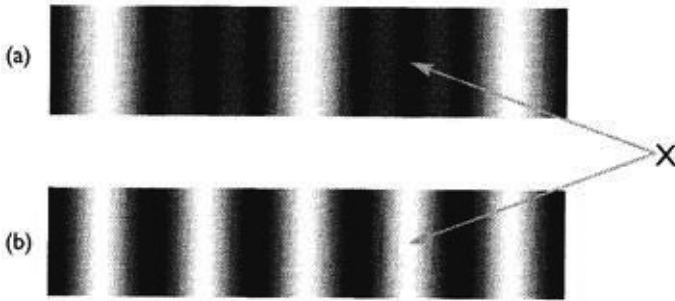


Рис. 2.7. Тени, отбрасываемые перегородкой с (a) четырьмя и (b) двумя параллельными щелями

Во-первых, картина тени от перегородки с четырьмя щелями, изображенная на рис. 2.7 (a), появляется только в том случае, если все четыре щели освещены лазерным лучом. Если освещены только две щели, появляется картина, которая должна быть для двух щелей. Если освещены три щели, появится новая картина, отличная от двух предыдущих, — тень от трех щелей. Таким образом, то, что создает помехи, находится в луче света. Двухщелевая картина также появляется вновь, если две лишние щели заполнить светонепроницаемым материалом, и не появляется, если этот материал прозрачный. Другими словами, создающий помехи агент блокируется всем, что не дает проходить свету, даже если это нечто почти неощутимо, как туман. Однако он проникает сквозь все, что позволяет пройти свету, даже через такое непроницаемое (для вещества) препятствие, как алмаз. Если в приборе установить сложную систему зеркал и линз, то до тех пор, пока свет может пройти от каждой щели до конкретной точки на экране, в этой точке будет наблюдаться часть четырехщелевой картины. Если до конкретной точки может пройти свет только от двух щелей, на экране мы увидим часть двухщелевой картины и т. д.

Таким образом, что бы ни вызывало помехи, оно ведет себя в точности как свет. Оно всегда присутствует в луче света, но от-

существует вне его. Оно отражается, передается или блокируется тем, что отражает, передает или блокирует свет.

Возможно, вы удивитесь, почему я столь досконально разбираю этот вопрос. Ведь абсолютно очевидно, что это *и есть* свет, то есть фотонам из одной щели мешают фотоны из других. Но, возможно, вы поставите под сомнение очевидное после следующего эксперимента, завершающего серию.

Что нам следует ожидать, когда эти эксперименты проводятся с использованием *только одного фотона за раз*? Предположим, что наш фонарик отнесен так далеко от экрана, что за целый день на него падает только один фотон. Что увидит наша лягушка, наблюдающая за экраном? Если верно то, что каждому фотону мешают другие фотоны, то не должны ли эти помехи уменьшиться, когда фотоны появляются очень редко? И не прекратятся ли они вовсе, если через прибор в каждый момент времени будет проходить только один фотон? Мы по-прежнему можем ожидать появления полутеней, так как фотон, проходя через щель, может отклониться от своего курса (быть может, в результате скользящего удара о край щели). Чего точно не должно быть, так это мест на экране, которые, подобно точке X, получают фотоны, когда открыты лишь две щели, но *становятся темными*, когда открывают две другие.

Однако именно это мы и увидим! Независимо от того, насколько редко появляются фотоны, картина теней остается неизменной. Даже при проведении эксперимента с одиночными фотонами мы не увидим ни единого случая их попадания в точку X, если открыты все четыре щели. Но стоит только закрыть две щели, и вспышки в точке X возобновятся.

Быть может, фотон расщепляется на фрагменты, которые после прохождения через щели изменяют свою траекторию и соединяются вновь? Эту возможность мы тоже можем исключить. Опять-таки если запустить в наш прибор ровно один фотон и у каждой из четырех щелей установить по детектору, то зарегистрировать сигнал сможет максимум один из них. Поскольку при подобном эксперименте никогда не наблюдается срабатывания двух детекторов одновременно, можно утверждать, что обнаруживаемые ими объекты не расщепляются.

Хорошо, но если фотоны не расщепляются на фрагменты и не меняют траекторию под действием других фотонов, то что же их отклоняет? Когда через прибор проходит по одному фотону за раз, что проникает через другие щели, создавая ему помехи?

Подведем итог. Мы обнаружили, что, когда один фотон проходит через наш прибор:

- он проходит через одну из щелей, а затем что-то воздействует на него, заставляя отклониться от своей траектории, и это отклонение зависит от того, какие еще щели открыты;
- воздействующие агенты прошли через какие-то из оставшихся щелей;
- воздействующие агенты ведут себя в точности так же, как фотоны...
- ...но их невозможно увидеть.

С этого момента я буду называть воздействующие объекты «фотонами». Именно фотонами они и являются, хотя в данный момент кажется, что существует два вида фотонов, один из которых я временно назову *реальными* фотонами, а другой — *теньвыми* фотонами. Первые мы можем увидеть или обнаружить с помощью приборов, тогда как вторые — неосязаемы (невидимы): их можно обнаружить только косвенно по их воздействию на видимые фотоны. (Далее мы увидим, что между реальными и теньвыми фотонами нет особой разницы: каждый фотон осязаем в одной вселенной и не осязаем во всех остальных, параллельных вселенных — но я забегаю вперед.) Пока мы пришли только к тому, что каждый реальный фотон сопровождают фотоны свиты, или теньвые фотоны, и что при прохождении фотона через одну из четырех щелей некоторые теньвые фотоны проходят через три оставшиеся. Поскольку возникают разные интерференционные картины, если мы прорезаем щели в других местах экрана, но все еще в пределах луча, теньвые фотоны должны попадать на всю освещенную часть экрана, когда на него попадает реальный фотон. Следовательно, теньвых фотонов гораздо больше, чем реальных. Сколько же их? Эксперименты не могут ограничить это число сверху, но дают приблизительную нижнюю границу. Мак-

симальная площадь, которую мы можем легко осветить с помощью лазера в лаборатории, составляет около одного квадратного метра, а минимальный достижимый размер отверстий может быть около 0,001 мм. Таким образом, существует около 10^{12} (одного триллиона) возможных положений отверстий на экране. Следовательно, каждый реальный фотон должен сопровождаться по крайней мере триллионом теневого.

Таким образом, мы пришли к выводу о существовании бурлящего, непомерно сложного скрытого мира теневого фотонов. Они летят со скоростью света, отражаются от зеркал, преломляются линзами и останавливаются, встретив светонепроницаемые барьеры или фильтры неподходящего цвета. Однако они не оказывают никакого воздействия даже на самые чувствительные детекторы. Единственная вещь во вселенной, по воздействию на которую можно наблюдать теневого фотон, — это сопровождаемый им реальный фотон. Это явление называется интерференцией. Если бы не это явление и не странные картины теней, по которым мы его обнаруживаем, теновые фотоны были бы абсолютно незаметными.

Интерференция свойственна не только фотонам. Квантовая теория предсказывает, а эксперимент подтверждает, что ей подвержены любые частицы. Так что каждый реальный нейтрон должны сопровождать войска теневого нейтронов, каждый электрон — войска теневого электронов и т. д. Каждую из этих теневого частиц можно обнаружить лишь косвенно по ее воздействию на движение реального партнера.

Отсюда вытекает, что реальность гораздо обширнее, чем кажется, и большая ее часть невидима. Те объекты и события, которые мы и наши приборы можем наблюдать непосредственно, — не более чем вершина айсберга.

Реальные частицы обладают свойством, которое дает нам право называть их совокупность *вселенной*. Это определяющее свойство заключается просто в их реальности, то есть во взаимодействии друг с другом и, следовательно, в том, что их можно непосредственно обнаружить с помощью приборов и органов чувств, созданных из других реальных частиц. Из-за явления интерференции они не отделены *полностью* от остальной реальности (то есть от тене-

вых частиц). В противном случае мы бы никогда не узнали, что реальность — это нечто большее, чем реальные частицы. Но с хорошей степенью приближения они напоминают Вселенную, которую мы видим вокруг ежедневно, и ту Вселенную, на которую ссылается классическая (доквантовая) физика.

По сходным причинам можно было бы предложить назвать совокупность теневых частиц *параллельной вселенной*, ибо теньевые частицы также испытывают воздействие реальных частиц только через явление интерференции. Но мы можем сделать еще лучше. Оказывается, теньевые частицы отделены друг от друга точно так же, как отделяется от них вселенная реальных частиц. Другими словами, они образуют не единственную однородную параллельную вселенную, намного превосходящую реальную, а огромное количество параллельных вселенных, каждая из которых по составу похожа на реальную и подчиняется тем же законам физики, но отличается тем, что в каждой из них частицы находятся в других положениях.

Нужно сделать замечание относительно терминологии. Слово «вселенная» традиционно использовали для обозначения «всей физической реальности». В этом смысле может существовать не более одной вселенной. Мы можем и далее придерживаться этого определения и утверждать, что то, что мы привыкли называть нашей Вселенной, а именно: все непосредственно осязаемое вещество и энергия вокруг нас, и все окружающее нас пространство — далеко не вся вселенная, а лишь небольшая ее часть. В этом случае нам пришлось бы придумать новое название для этой маленькой реальной части. Но большинство физиков предпочитает продолжать пользоваться словом «вселенная» для обозначения того, что оно всегда обозначало, несмотря на то что сейчас эта сущность оказывается лишь маленькой частью физической реальности. Для обозначения физической реальности в целом было придумано новое слово — мультивселенная, или *мультиверс*.

Опыты с интерференцией одной частицы, подобные описанным мной, показывают, что мультиверс существует и содержит множество партнеров каждой частицы реальной вселенной. Чтобы прийти к следующему выводу о разделении мультиверса на парал-

лельные вселенные, следует рассмотреть явление интерференции более чем одной реальной частицы. Самый простой способ осуществить это — спросить посредством «мысленного эксперимента», что должно происходить на микроскопическом уровне, когда теньевые фотоны встречают непрозрачный объект. Безусловно, они останавливаются: мы знаем это, поскольку интерференция прекращается, когда на пути теньевых фотонов появляется светонепроницаемая перегородка. Но почему? Что их останавливает? Мы можем исключить прямолинейный ответ, что реальные атомы перегородки поглощают их так же, как поглотили бы реальные фотоны. Во-первых, нам известно, что теньевые фотоны не взаимодействуют с реальными атомами. Во-вторых, мы можем проверить, измерив атомы перегородки (или точнее, заменив перегородку детектором), что они не поглощают энергию и никоим образом не изменяют свое состояние, пока не встретят реальный фотон. Теньевые фотоны не оказывают на них никакого влияния.

Другими словами, перегородка одинаково воздействует как на реальные, так и на теньевые фотоны, но на нее эти два вида фотонов воздействуют по-разному. В действительности, насколько нам известно, теньевые фотоны вообще не оказывают на нее никакого воздействия. На самом деле это и является определяющим свойством теньевых фотонов, потому что если бы они оказывали видимое воздействие хоть на какой-то материал, то этот материал можно было бы использовать как детектор теньевых фотонов, а само явление теней и интерференции не существовало бы в том виде, в каком я его описал.

Следовательно, в месте существования реальной перегородки находится и теньевой барьер некоторого вида. Без особых усилий можно сделать вывод, что эта теньевая перегородка состоит из *теньевых атомов*, которые, как нам уже известно, должны присутствовать как партнеры реальных атомов перегородки. У каждого реального атома существует множество таких партнеров. Действительно, общая плотность теньевых атомов даже в слабом тумане была бы более чем достаточна, чтобы остановить танк, что уж говорить об одном фотоне, *если бы* эти атомы могли воздействовать на него. Поскольку мы обнаружили, что частично прозрачные перегородки

имеют равную степень светопроницаемости как для реальных, так и для теневых фотонов, значит, не все теневые атомы на пути определенного теневого фотона могут помешать его движению. Каждый теневой фотон встречает перегородку, во многом подобную той, которую встречает его реальный партнер, — перегородку, состоящую лишь из небольшой доли существующих теневых атомов.

По той же причине каждый теневой атом в перегородке может взаимодействовать лишь с небольшой долей других теневых атомов, находящихся около него, и те, с которыми он взаимодействует, образуют перегородку, весьма похожую на реальную. И так далее. Всё вещество и все физические процессы имеют такую структуру. Если реальным барьером является сетчатка глаза лягушки, значит, должно быть много теневых сетчаток, каждая из которых способна остановить только одного теневого партнера каждого фотона. Каждая теневая сетчатка сильно взаимодействует только с соответствующими теневыми фотонами, с соответствующей теневой лягушкой и т. д. Другими словами, частицы группируются в параллельные вселенные. Они «параллельны» в том смысле, что в пределах каждой вселенной частицы взаимодействуют друг с другом так же, как в реальной вселенной, но воздействие, оказываемое каждой вселенной на остальные, весьма слабое, и реализуется оно через явление интерференции.

Таким образом, мы построили цепочку умозаключений, которая начинается со странной структуры теней и заканчивается параллельными вселенными. На каждом этапе мы обнаруживаем, что поведение наблюдаемых нами объектов можно объяснить только присутствием невидимых объектов, которые имеют вполне определенные свойства. Ключевая идея заключается в том, что явление интерференции одиночной частицы определенно исключает возможность того, что существует одна лишь реальная вселенная, которая нас окружает. Никто не отрицает, что такое явление интерференции существует. Тем не менее лишь немногие физики признают существование мультиверса. Почему?

Ответ, к сожалению, выставляет большинство не в лучшем свете. Я еще вернусь к этому в главе 13, но сейчас мне хотелось бы подчеркнуть, что доводы, представленные мной в этой главе, обращены

лишь к тем, кто ищет *объяснений*. Те, кого устраивают обычные *предсказания* и у кого нет особого желания понять, как получаются предсказанные результаты экспериментов, могут при желании просто отрицать существование всего, за исключением того, что я называю «реальными» объектами. Некоторые люди, например, инструменталисты и позитивисты, принимают эту линию исходя из философского принципа. Я уже сказал, что думаю о таких принципах и почему. Другие люди просто не хотят думать об этом. Как-никак это очень *сильный* вывод, и он вызывает большое беспокойство, когда о нем слышишь впервые. Но я полагаю, что все эти люди ошибаются. Я надеюсь убедить читателей, которые готовы меня терпеть, что понимание мультиверса — это неременное условие для достижения наилучшего возможного понимания реальности. Я говорю это не в духе суровой решимости искать истину независимо от того, насколько неприятной она может оказаться (хотя надеюсь, что я принял бы и такую истину, если бы до этого дошло). Напротив, я говорю это потому, что такое мировоззрение намного целостнее и гораздо осмысленнее, чем все прежние мировоззрения. Оно определенно возвышается над циничным прагматизмом, который в наше время слишком часто служит для ученых суррогатом мировоззрения.

«Почему мы не можем просто сказать, — спрашивают некоторые физики-прагматики, — что фотоны ведут себя так, *словно* взаимодействуют с невидимыми сущностями? Почему нельзя на этом и остановиться? Почему мы должны идти дальше и занимать определенную позицию относительно существования невидимых объектов?» Более экзотический вариант этой же по существу идеи заключается в следующем: «Реальный фотон осязаем, теневой фотон — это просто вариант поведения реального фотона, который был возможен, но не осуществился. Таким образом, квантовая теория описывает *взаимодействие реального с возможным*». Это, по меньшей мере, звучит достаточно глубокомысленно. Но, к сожалению, люди, которые выбирают любой из этих взглядов (включая выдающихся ученых, которые должны бы быть лучше осведомлены), с этого места неизменно начинают нести чушь. Поэтому давайте будем рассудительными. Ключевой момент состоит в том,

что реальный, видимый и осязаемый фотон *ведет себя по-разному* в зависимости от того, какие пути открыты где-то там в экспериментальной установке, ибо что-то движется рядом с ним и в конце концов перехватывает видимый фотон. Что-то действительно перемещается по этим путям, и отказаться называть его «реальным» — это просто играть в слова. «Возможное» не может взаимодействовать с реальным: несуществующие сущности не могут изменять траекторию движения существующих. Если фотон отклоняется от своей траектории, на него должно что-то воздействовать, и это что-то я назвал «теневым фотоном». Конечно, присвоение имени не делает вещь реальной, но не может быть, чтобы действительное событие, такое как приход и регистрация реального фотона, было вызвано воображаемым событием — тем, что фотон «мог бы сделать», но не сделал. Только то, что действительно происходит, может стать причиной других реальных событий. Если сложные движения теневых фотонов в эксперименте с интерференцией были бы просто возможностью, которая на самом деле не реализовалась, то и наблюдаемое нами явление интерференции в действительности не имело бы места.

Причину того, что эффект интерференции обычно столь слаб и трудно обнаружим, можно найти в законах квантовой механики, которые им управляют. Существенны два частных вывода из этих законов. Во-первых, каждая субатомная частица имеет партнеров в других вселенных и интерферирует только с этими партнерами. Любые другие частицы этих вселенных не оказывают на нее непосредственного воздействия. Следовательно, интерференцию можно наблюдать лишь в особых случаях, когда траектории частицы и ее теневых партнеров расходятся и затем вновь сходятся (когда, например, фотон и теневой фотон стремятся к одной и той же точке на экране). Даже время должно быть правильным: если на одной из двух траекторий организовать задержку, интерференция ослабнет или прекратится. Во-вторых, для того, чтобы обнаружить интерференцию между любыми двумя вселенными, необходимо, чтобы произошло взаимодействие *между всеми их частицами, положение и другие свойства которых не идентичны*. На практике это означает, что интерференция будет достаточно сильна для того, чтобы

ее можно было обнаружить только между двумя очень похожими вселенными. Например, во всех описанных мною экспериментах интерферирующие вселенные отличаются положением только одного фотона. Если фотон при движении воздействует на другие частицы, и в особенности если мы наблюдаем его, то эти частицы или наблюдатель тоже станут различными в разных вселенных. Если это так, то последующую интерференцию с участием этого фотона на практике невозможно будет обнаружить, потому что требуемое взаимодействие между *всеми* частицами, которые подверглись влиянию, будет слишком сложно обеспечить. Здесь я должен упомянуть, что стандартная фраза, описывающая этот факт, а именно — «наблюдение разрушает интерференцию», — весьма обманчива, причем сразу в трех отношениях. Во-первых, она предполагает некоторое психокинетическое влияние сознательного «наблюдателя» на фундаментальные физические явления, хотя такого влияния не существует. Во-вторых, интерференция не «разрушается»: ее просто (гораздо!) сложнее увидеть, потому что для этого необходимо управлять точным поведением гораздо большего количества частиц. И, в-третьих, не только «наблюдение», но и *любое* воздействие фотона на его окружение, которое зависит от выбранной им траектории, приводит к тому же результату.

Ради блага читателей, которые могли видеть другие описания квантовой физики, я должен кратко показать связь между рассуждением, приведенным мной в этой главе, и обычным способом подачи этого предмета. Возможно, из-за споров, возникших среди физиков-теоретиков, традиционно отправной точкой является сама квантовая теория. Сначала теорию пытаются изложить как можно точнее, а уже затем — понять, что она говорит нам о реальности. Это единственный возможный подход, если нужно прийти к пониманию мельчайших деталей квантовых явлений. Но в отношении вопроса о том, состоит ли реальность из одной вселенной или из многих, этот подход излишне сложен. Именно поэтому в данной главе я ему не следовал. Я даже не сформулировал ни одного постулата квантовой теории, а просто описал некоторые физические явления и сделал неизбежные выводы. Но если начинать с теории, существует две вещи, которые никто не будет оспаривать. Первая заключается

в том, что квантовая теория не имеет себе равных в способности предсказывать результаты экспериментов даже при слепом использовании ее уравнений без особых размышлений об их значении. Вторая состоит в том, что квантовая теория рассказывает нам нечто новое и необычное о природе реальности. Спор заключается лишь в том, что именно.

Хью Эверетт¹ первым ясно осознал (в 1957 году, примерно через тридцать лет после того, как эта теория стала основой физики субатомных частиц), что квантовая теория описывает мульти-вселенную. С того времени не утихает спор о том, допускает ли эта теория какую-то другую интерпретацию (или реинтерпретацию, или переформулировку, или модификацию и т. д.), согласно которой она описывала бы единственную вселенную, но продолжала бы правильно предсказывать результаты экспериментов. Другими словами, действительно ли принятие предсказаний квантовой теории вынуждает нас принять существование параллельных вселенных?

Мне кажется, что этот вопрос, а следовательно, и преобладающая тональность спора относительно этой проблемы имеет характер упорного заблуждения. Признаться, для физиков-теоретиков, подобных мне, допустимо и оправданно прикладывать огромные усилия, чтобы достичь понимания формальной структуры квантовой теории, но не за счет того, чтобы потерять из вида нашу главную цель — понять реальность. Даже если предсказания квантовой теории можно каким-то образом получить, не ссылаясь на другие вселенные, отдельные фотоны все равно будут отбрасывать описанные мной тени. И без знания квантовой теории ясно, что эти тени не могут быть результатом любой отдельно взятой истории фотона, описывающей его движение от фонарика к глазу наблюдателя. Они несовместимы ни с одним объяснением, рассматривающим только те фотоны, которые мы видим. Или только те перегородки, которые мы видим. Или только видимую нами вселенную.

¹ Хью Эверетт (1930–1982) — американский физик и специалист по математическому моделированию. Первым предложил многомировую интерпретацию квантовой физики. — *Прим. ред.*

Следовательно, если наилучшая теория из тех, что были в распоряжении физиков, не ссылалась на параллельные вселенные, это просто значит, что нам понадобится теория получше, которая будет ссылаться на параллельные вселенные, чтобы объяснить то, что мы видим.

Означает ли это, что принятие предсказаний квантовой теории заставляет нас принять и существование параллельных вселенных? Само по себе — нет. Любую теорию мы всегда можем истолковать в духе инструментализма — так, чтобы она не заставляла нас признавать что-либо относительно реальности. Но спор-то не об этом. Как я уже сказал, чтобы узнать, что параллельные вселенные существуют, нам не нужны глубокие теории: об этом нам говорит явление интерференции с участием одной частицы. Глубокие теории нужны нам, чтобы объяснить и предсказать такие явления — рассказать, каковы эти другие вселенные, каким законам они подчиняются, как влияют друг на друга и как все это укладывается в теоретические основы других предметов. Именно это и делает квантовая теория. Квантовая теория параллельных вселенных — это не проблема, это решение. Она не является некоей сомнительной и факультативной интерпретацией, проистекающей из заумных теоретических соображений. Она является объяснением — и единственно логичным объяснением — замечательной и контринтуитивной реальности.

До сих пор я использовал условные термины, подразумевающие, что одна из множества параллельных вселенных отличается от других тем, что она «реальна». Пришло время разорвать последнюю связь с классическим понятием реальности, основанным на существовании одной вселенной. Вернемся к нашей лягушке. Мы поняли, что история лягушки, которая смотрит на далекий от нее фонарик в течение многих дней, ожидая вспышку, которая появляется в среднем раз в день, — еще не вся история, потому что должны также существовать теньевые лягушки в теневых вселенных, сосуществующие с реальной лягушкой и тоже ждущие появления фотонов. Допустим, что нашу лягушку научили подпрыгивать при появлении вспышки. В начале эксперимента у реальной лягушки будет множество теневого партнеров, и изначально все они будут похожи.

Но уже вскоре похожими между собой будут не все. Маловероятно, чтобы каждая лягушка увидела фотон немедленно после начала эксперимента. Но событие, редкое в одной вселенной, является обычным в мультиверсе в целом. В любой момент где-то в мультиверсе существует несколько вселенных, в которых один из фотонов воздействует на сетчатку глаза лягушки, находящейся в этой вселенной. И эта лягушка подпрыгивает.

Почему же она подпрыгивает? Потому что в пределах своей вселенной она подчиняется тем же законам физики, что и реальная лягушка: на ее теневую сетчатку попал теневой фотон, принадлежащий этой вселенной. Одна из светочувствительных теневых молекул этой теневой сетчатки отреагировала сложными химическими изменениями, на что, в свою очередь, отреагировал зрительный нерв теневой лягушки. Он передал сообщение в мозг теневой лягушки, которая, следовательно, испытала ощущение, что она видит вспышку.

Но, быть может, мне следует сказать «теневое ощущение того, что она видит вспышку»? Конечно, нет. Если «теневые» наблюдатели, будь то лягушки или люди, реальны, то все их ощущения тоже должны быть реальными. Когда они наблюдают то, что мы могли бы назвать теневым объектом, для них этот объект реален. Они наблюдают его при помощи тех же средств и в соответствии с тем же определением, что и мы, когда мы говорим, что вселенная, которую мы наблюдаем, «реальна». Понятие реальности относительно для данного наблюдателя. Поэтому объективно не существует ни двух видов фотонов, реального и теневого, ни двух видов лягушек, ни двух видов вселенных, из которых лишь одна — реальная, а все остальные — теневые. В описании, которое я привел относительно образования теней или каких-то схожих явлений, не существует ничего, позволяющего различить «реальные» и «теневые» объекты, кроме простого допущения, что одна из копий «реальна». Когда я вводил понятия реальных и теневых фотонов, я явным образом разделил их, сказав, что мы видим первые, но не вторые. Но кто такие «мы»? Пока я писал все это, множество теневых Дэвидов Дойчей писали то же самое. Они тоже подразделяли фотоны на реальные и теневые; но среди фотонов, которые

они называли теневыми, были те, которые я назвал «реальными», а те фотоны, которые они называли реальными, оказались среди тех, которые я назвал «теновыми».

Ни одна из копий какого-либо объекта не занимает привилегированного положения не только в только что изложенном объяснении теней, но и в полном математическом объяснении, даваемом квантовой теорией. Субъективно я могу считать, что выделяюсь среди копий своей «реальностью», поскольку я могу непосредственно воспринимать себя, а не других, но я должен смириться с тем, что все остальные копии чувствуют то же самое по отношению к себе.

Многие из этих Дэвидов Дойчей пишут эти же самые слова в это мгновение. У некоторых это получается лучше. А некоторые пошли выпить чашку чая.

Терминология

Фотон — частица света.

Реальный/теновой — для ясности изложения в пределах этой главы я назвал частицы этой вселенной *реальными*, а частицы других вселенных — *теновыми*.

Мультиверс, или *мультивселенная* — вся физическая реальность, которая содержит много параллельных вселенных.

Параллельные вселенные «параллельны» в том смысле, что в пределах каждой вселенной частицы взаимодействуют друг с другом так же, как и в реальной вселенной, но каждая вселенная оказывает на остальные весьма слабое влияние через явление интерференции.

Квантовая теория — теория физики мультиверса.

Квантование — свойство иметь дискретный (а не непрерывный) набор возможных значений. Квантовая теория получила название от допущения, что все измеряемые величины квантуются. Однако наиболее важным квантовым эффектом является не квантование, а интерференция.

Интерференция — воздействие, оказываемое частицей одной вселенной на своего партнера из другой вселенной. Интерференция фотона может стать причиной появления намного более слож-

ной картины теней, чем просто силуэты препятствий, которые эти тени отбрасывают.

Резюме

В экспериментах с интерференцией на картине теней могут присутствовать такие участки, которые становятся темными при появлении в перегородке новых щелей. Это явление сохраняется, даже если эксперимент проводят с отдельными частицами. Цепочка рассуждений, основанная на этом факте, исключает возможность того, что вселенная, окружающая нас, — это вся реальность. В действительности вся физическая реальность, мультиверс, содержит огромное количество параллельных вселенных.

Квантовая физика — одна из четырех основных нитей объяснения. Следующая нить — это эпистемология, теория познания.

3

Решение проблем

Я не знаю, что более странно: поведение самих теней или тот факт, что созерцание нескольких светотеневых картин может вынудить нас столь радикально изменить представления о структуре реальности. Доводы, приведенные в предыдущей главе, несмотря на их дискуссионный итог, представляют собой типичный пример научного рассуждения. Полезно поразмышлять над характером этого рассуждения, которое представляет собой природное явление по крайней мере столь же удивительное и плодотворное, как и физика теней.

Тем, кто предпочел бы, чтобы структура реальности была более прозаичной, может показаться несоразмерным и даже нечестным, что такие грандиозные выводы могут проистекать из того факта, что крошечное пятно света оказалось на экране *здесь*, а не *там*. Однако это далеко не первый подобный случай в истории науки. В этом отношении открытие других вселенных очень напоминает открытие других планет первыми астрономами. До отправки космических зондов на Луну и другие планеты мы получали *всю* информацию о планетах из того, что пятна света (или иного излучения) наблюдались в одном месте, а не в другом. Вспомним, как был открыт первый важнейший факт, относящийся к планетным, — они не являются звездами. Если наблюдать за ночным небом в течение нескольких часов, можно увидеть, что звезды как будто обращаются вокруг определенной точки в небе. Они движутся как единое целое, сохраняя одно и то же положение относительно друг друга. Традиционное объяснение заключалось в том, что ночное небо — это огромная «небесная сфера», которая вращается вокруг непод-

вижной Земли, а звезды — это либо отверстия в сфере, либо встро-енные в нее сияющие кристаллы. Однако среди тысяч светящихся точек, которые можно увидеть в небе невооруженным глазом, есть несколько самых ярких, которые, если за ними наблюдать долго, движутся не так, как если бы они были прикреплены к небесной сфере. Они блуждают по небу более сложным образом. Их называют «планетами» — от греческого слова, означающего «странствующий». Их движение по небу было признаком неадекватности объяснения, основанного на небесной сфере.

Последовательные попытки объяснения движения планет сыграли важную роль в истории науки. *Гелиоцентрическая теория* Коперника расположила планеты и Землю на круговых орбитах вокруг Солнца. Кеплер обнаружил, что орбиты — скорее эллипсы, чем окружности. Ньютон объяснил эллипсы своим законом тяготения, сила которого меняется обратно пропорционально квадрату расстояния, и впоследствии его теория позволила предсказать то, что взаимное гравитационное притяжение планет заставляет их немного отклоняться от эллиптических орбит. Наблюдение этих отклонений привело в 1846 году к открытию новой планеты Нептун — одному из многих открытий, блистательно подтвердивших теорию Ньютона. Однако спустя лишь несколько десятилетий общая теория относительности Эйнштейна предоставила нам принципиально новое объяснение гравитации как искривления пространства и времени и в результате вновь предсказала немного другое движение планет. Например, эта теория верно предсказала, что каждый год планета Меркурий будет отклоняться на одну десятитысячную градуса от положения, которое она должна занимать в соответствии с теорией Ньютона¹. Эта теория также показала, что свет звезды, проходящий близко к Солнцу, будет отклоняться его тяготением на величину, в два раза превышающую значение, предсказанное теорией Ньютона. Наблюдение этого отклонения Арту-

¹ Это не совсем точно. На такую величину отклоняется от ньютоновских предсказаний не положение самого Меркурия, а положение перигелия его орбиты. Также этот факт не вполне точно называть предсказанием, поскольку движение перигелия Меркурия было открыто более чем за полвека до появления общей теории относительности. — *Прим. ред.*

ром Эддингтоном в 1919 году часто называют событием, из-за которого ньютоновская картина мира утратила свою рациональную состоятельность. (Ирония состоит в том, что современные оценки точности эксперимента Эддингтона говорят о том, что такие выводы могли быть преждевременными¹.) Этот эксперимент, повторенный неоднократно с высокой точностью, заключался в измерении положений на фотопластинке пятен света (изображений звезд, близких к краю Солнца во время затмения).

По мере того, как расчеты астрономов становились точнее, уменьшалась разница между предсказаниями следующих друг за другом теорий в отношении вида ночного неба. Чтобы обнаружить эти различия, приходилось строить все более мощные телескопы и измерительные приборы. Однако объяснения, на которых были основаны эти предсказания, не сближались между собой. Напротив, как я только что описал, это была последовательность революционных перемен. Таким образом, наблюдения все меньших физических эффектов вызывали всё большие изменения в нашем мировоззрении. Может показаться, что мы делаем все более грандиозные выводы, исходя из все более слабых свидетельств. Чем же тогда оправдываются такие выводы? Можно ли быть уверенным, что только из-за того, что звезда на фотопластинке Эддингтона оказалась смещенной на доли миллиметра, пространство и время должны быть искривленными; или из-за того, что фотодетектор в определенном положении не регистрирует попадание слабого света, должны существовать параллельные вселенные?

В действительности в моих описаниях недостаточно отражена степень хрупкости и косвенности всех наших экспериментальных

¹ Во время солнечного затмения 29 мая 1919 г. Эддингтоном были организованы наблюдения близких к Солнцу звезд, подтвердившие правильность теории относительности. Оговорка о низкой точности наблюдений Эддингтона отражает позицию философов науки Джона Иермена и Кларка Глаймура, высказанную в статье 1980 г., где они обосновывали, что, обрабатывая наблюдения, Эддингтон необоснованно отбросил данные, противоречащие ОТО. В 2007 г. астрофизик Дэниэл Кеннефик реабилитировал Эддингтона, доказав корректность обработки данных. Однако эта информация появилась лишь через 10 лет после выхода первого издания книги Дойча. — *Прим. ред.*

результатов. Дело в том, что мы не воспринимаем звезды, пятна на фотопластинках или любые другие внешние объекты или события непосредственно. Мы видим что-либо только тогда, когда изображения этого появляются на сетчатке наших глаз, но даже эти изображения мы не воспринимаем, пока они не вызовут электрические импульсы в наших нервах и наш мозг не получит и не поймет эти импульсы. Таким образом, вещественное доказательство, которое непосредственно склоняет нас к тому, чтобы принять один взгляд на мир, а не другой, не назвать даже «миллиметровым»: оно измеряется в тысячных долях миллиметра (таково расстояние между волокнами глазного нерва) и в сотых долях вольта (изменение электрического потенциала наших нервов, из-за которого мы по-разному воспринимаем разные вещи).

Однако мы не придаем равного значения всем нашим сенсорным восприятиям. В научных экспериментах мы заходим достаточно далеко, чтобы приблизиться к восприятию тех аспектов внешней реальности, которые, как нам кажется, могут нам помочь при выборе одной из конкурирующих теорий. Еще до того, как провести наблюдение, мы тщательно продумываем, куда и когда нам следует смотреть и что именно искать. Часто мы используем сложные, специально построенные приборы, такие как телескопы и фотоумножители. Но как бы ни были сложны эти приборы и как бы ни были значительны внешние причины, которым мы приписываем показания этих приборов, мы воспринимаем эти показания только через свои органы чувств. Но нельзя уйти от того факта, что мы, люди, — маленькие создания лишь с несколькими несовершенными и неполными каналами получения информации о том, что нас окружает. Мы интерпретируем эту информацию как свидетельство существования большой и сложной внешней вселенной (или мультиверса). Но когда мы взвешиваем эти доказательства, то в буквальном смысле мы воспринимаем только слабые электрические токи, протекающие в нашем мозге.

Что оправдывает те выводы, которые мы делаем из этих картин? Дело определено не в логической дедукции. Ни эти, ни какие-либо другие наблюдения не могут *доказать* то, что внешняя вселенная или мультиверс вообще существует; не говоря уже о том,

что электрические импульсы, получаемые нашим мозгом, имеют какое-то особое отношение к ней. Все, что мы воспринимаем, может быть иллюзией или сном: как-никак, иллюзии и сны — обычное дело. *Солипсизм*, теорию о том, что существует один только разум, а то, что кажется внешней реальностью, — не более чем сон этого разума, невозможно логически опровергнуть. Реальность *может* состоять из одного человека — скажем, это будете вы, — которому снятся впечатления всей жизни. Или она может состоять лишь из вас и меня. Или из одной планеты Земля и ее жителей. И если нам приснятся данные — любые данные — о существовании других людей, или других планет, или других вселенных, они ничего не докажут относительно того, сколько всего этого существует на самом деле.

Поскольку солипсизм и бесчисленное множество сходных с ним теорий логически согласуются с вашим восприятием любых возможных результатов наблюдений, ясно, что из наблюдений логически невозможно вывести ничего, что касалось бы реальности. Как же тогда я могу говорить, что наблюдаемое поведение теней «исключает» теорию о том, что существует только одна вселенная или что наблюдения солнечного затмения делают ньютоновский взгляд на мир «рационально несостоятельным»? Как это возможно? Если «исключение» не означает «опровержение», что оно тогда означает? Почему нужно считать себя обязанным менять свой взгляд на мир или вообще любое мнение из-за того, что нечто было подобным образом «исключено»? Казалось бы, такая критика ставит под сомнение всю науку, любое рассуждение о внешней реальности, которое обращается к результатам наблюдений. Но если научное рассуждение не равносильно последовательности логических выводов из опыта, то чему же оно равносильно? Почему мы должны принимать его выводы?

Этот вопрос известен как «проблема индукции». Название его происходит от того, что на протяжении большей части истории науки было доминирующим представлением о том, как она работает. Это представление заключалось в существовании способа обоснования вывода, не дотягивающего по строгости математического доказательства, но тем не менее достойного внимания, который

называется *индукцией*. Индукции противопоставляли с одной стороны якобы безупречные доказательства, предоставляемые дедукцией, а с другой стороны — считающиеся еще более слабыми философские или интуитивные способы рассуждения, не поддержанные даже результатами наблюдений. В индуктивистской теории научного знания наблюдения играют двоякую роль: сначала — при открытии научных теорий, затем — при их доказательстве. Предполагается, что теорию открывают, «экстраполируя» или «обобщая» результаты наблюдений. Тогда, если обширное множество наблюдений соответствует теории и ни одно из них не отклоняется от нее, теорию считают обоснованной — то есть более правдоподобной, вероятной или надежной. Эта схема показана на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Индуктивистская схема

Индуктивистский анализ моего обсуждения теней должен тогда выглядеть примерно так: «Мы проводим ряд наблюдений теней и видим явление интерференции (этап 1). Результаты соответствуют тому, что следовало бы ожидать, если бы существовали параллельные вселенные, которые определенным образом воздействуют друг на друга. Но сначала никто этого не замечает. В конечном итоге (этап 2) кто-то делает обобщение, что интерференция *всегда* будет наблюдаться при данных обстоятельствах, а следовательно, выводит теорию, что за это ответственны параллельные вселенные. С каждым последующим наблюдением интерференции (этап 3) мы чуть сильнее убеждаемся в справедливости этой теории. После достаточно большого количества таких наблюдений и при условии, что ни одно из них не противоречит теории, мы заключаем (этап 4), что эта теория истинна. И хотя мы никогда не сможем получить абсолютной уверенности, для практических целей мы убеждены».

Трудно определить, откуда начать критиковать индуктивистское представление о науке, настолько глубоко и в столь разных отно-

шениях оно ложно. С моей точки зрения, возможно, самый большой его недостаток в том, что совершенно ниоткуда не следует, что обобщенное предсказание равносильно новой теории. Теория существования параллельных вселенных, как и все хоть сколько-нибудь глубокие научные теории, просто не носит характера обобщения наблюдений. Разве мы наблюдали сначала одну вселенную, потом вторую и третью, а потом сделали вывод, что существуют триллионы вселенных? Разве обобщение, состоящее в том, что планеты «блуждают» по небу одним образом, а не другим, было эквивалентно теории о том, что планеты — это миры, обращающиеся по орбитам вокруг Солнца и что Земля — один из них? Неверно также и то, что повторение наших наблюдений — это способ убедиться в справедливости научных теорий. Как я уже сказал, теории — это объяснения, а не просто предсказания. Если предложенное объяснение ряда наблюдений не принимается, то повторение наблюдений вновь и вновь помогает редко. Еще меньше оно помогает в создании удовлетворительного объяснения, когда вообще никакого придумать не удается.

Более того, даже простые предсказания нельзя обосновать с помощью результатов наблюдений, как показал в своей истории о цыплёнке Бертран Рассел¹. (Во избежание возможных недоразумений позвольте мне подчеркнуть, что это был метафорический, антропоморфный цыплёнок, служащий образом человека, пытающегося понять закономерности вселенной.) Цыплёнок заметил, что фермер каждый день приходит, чтобы накормить его, и предсказал, что фермер будет продолжать каждый день приносить еду. Индуктивисты полагают, что цыплёнок «экстраполировал» свои наблюдения в теорию, и каждый раз, когда приходило время кормежки, эта теория все более подтверждалась. Однако как-то раз пришел фермер и свернул цыплёнку шею. Разочарование, которое испытал цыплёнок Рассела, испытали и триллионы других цыплят. Это

¹ Бертран Артур Уильям Рассел (1872–1970) — британский философ, математик, историк и общественный деятель, один из основателей аналитической философии, лауреат Нобелевской премии по литературе (1950). — *Прим. ред.*

индуктивно подтверждает заключение о том, что индукция не может подтвердить ни одного вывода!

Однако эта линия критики позволяет индуктивизму отделаться слишком легко. Да, она иллюстрирует тот факт, что многократно повторенные наблюдения не могут *подтвердить* теории, но при этом она полностью упускает (а скорее даже принимает) еще более неправильное представление, а именно, что путем индуктивной экстраполяции наблюдений можно *формировать* новые теории. На самом деле экстраполировать наблюдения невозможно, если кто-то не включил их в некую объяснительную систему. Например, чтобы «вывести» свое ложное предсказание, цыпленок Рассела должен был сначала придумать ложное объяснение поведения фермера. Он мог предположить, что фермер испытывает к цыплятам добрые чувства. Придумай он другое объяснение — например, что фермер старается откормить цыплят, чтобы потом зарезать, — и поведение было бы «экстраполировано» совсем по-другому. Допустим, однажды фермер начинает приносить цыплятам больше еды, чем обычно. Экстраполяция этого нового ряда наблюдений с целью предсказать будущее поведение фермера полностью зависит от того, как его объяснить. В соответствии с теорией доброго фермера наблюдения говорят о том, что доброта фермера по отношению к цыплятам увеличилась, и им теперь совсем нечего переживать. Но в соответствии с теорией откармливания такое поведение — зловещий признак: очевидно, что смерть близка.

Тот факт, что одни и те же результаты наблюдений можно «экстраполировать» с получением двух диаметрально противоположных предсказаний в зависимости от принятого объяснения и ни одно из них невозможно обосновать, — не просто случайное ограничение, связанное со средой обитания фермера: это относится ко всем результатам наблюдений, при любых обстоятельствах. Наблюдения, вероятно, не могут играть ни одну из ролей, которую им приписывает индуктивистская схема, даже в отношении простых предсказаний, не говоря уже о настоящих объяснительных теориях. Безусловно, индуктивизм основан на отвечающей здравому смыслу теории роста знания (о которой говорит нам жизненный опыт), и исторически он ассоциировался с освобождением науки от догмы

и тирании. Но если мы хотим понять истинную природу знания и его место в структуре реальности, мы должны признать, что индуктивизм ложен от корней до ветвей. Ни одно научное рассуждение, а в действительности и ни одно успешное рассуждение любого рода никогда не подходило под описание индуктивистов.

Какова же тогда реальная схема научных рассуждений и открытий? Мы видели, что индуктивизм и все остальные строящиеся вокруг способности к предсказанию теории знания основаны на недоразумении. Нам необходима теория знания построенная вокруг объяснения: теория о том, как появляются объяснения и как их обосновывают; как, почему и когда нам следует позволить своему восприятию изменить наше мировоззрение. Как только у нас будет такая теория, отдельная теория предсказаний нам больше не понадобится. Ведь если мы имеем объяснение какого-то наблюдаемого явления, то уже не является загадкой, как получить предсказания. И если удалось подтвердить объяснение, то любые предсказания, полученные из этого объяснения, тоже автоматически считаются подтвержденными.

К счастью, господствующую теорию научного познания, которая своей современной формой обязана главным образом Карлу Попперу¹ (и которая является одной из моих четырех «основных нитей» объяснения структуры реальности), в этом смысле действительно можно считать объяснительной теорией. Она рассматривает науку как процесс *решения проблем*. Индуктивизм относится к каталогу наших прошлых наблюдений как своего рода скелету теории, считая, что суть науки состоит в заполнении пробелов этой теории путем интерполяции и экстраполяции. Решение проблем действительно начинается с неадекватной теории — но не с воображаемой «теории», состоящей из прошлых наблюдений. Оно начинается с наших лучших существующих теорий. Когда некото-

¹ Карл Раймунд Поппер (1902–1994) — австрийский и британский философ и социолог, основоположник философской концепции критического рационализма. Внес выдающийся вклад в философию науки. Основные труды: «Логика научного исследования» (1934), «Открытое общество и его враги» (1945), «Предположения и опровержения» (1963), «Объективное знание» (1972). — *Прим. ред.*

рые из этих теорий кажутся нам неадекватными и мы нуждаемся в новых, это и составляет *проблему*. Таким образом, вопреки индуктивистской схеме, показанной на рис. 3.1, научное открытие не должно начинаться с результатов наблюдений, но оно всегда начинается с проблемы.

Под «проблемой» я понимаю не обязательно практическую трудную ситуацию или источник тревоги. Я имею в виду лишь набор идей, который представляется неадекватным и который стоит попытаться усовершенствовать. Существующее объяснение может казаться слишком многословным или слишком сложным; оно может выглядеть неоправданно узким или необоснованно амбициозным. В нем можно увидеть возможность объединения с другими идеями. Или объяснение, удовлетворительное в одной области, окажется невозможно согласовать со столь же удовлетворительным объяснением из другой области. Или, *может* быть, появились странные наблюдения, такие как блуждающие планеты, которые существующие теории не предсказали и не могут объяснить.

Последний тип проблемы напоминает первый этап схемы индуктивистов, но лишь внешне. Дело в том, что неожиданное наблюдение никогда не приводит к научному открытию, если только существовавшие до него теории не содержали уже семена проблемы. Например, облака блуждают даже больше, чем планеты. Это непредсказуемое блуждание, по-видимому, было известно задолго до того, как открыли планеты. Более того, прогнозы погоды всегда ценили фермеры, моряки и солдаты, так что всегда существовал стимул создать теорию движения облаков. Тем не менее не метеорология, а астрономия проложила путь для современной науки. Результаты метеорологических наблюдений были гораздо доступнее результатов астрономических наблюдений, но никто не обращал на них особого внимания, и никто не выводил из них теорий относительно холодных фронтов или антициклонов. История науки не была наполнена спорами, догмами, еретическими учениями, рассуждениями и тщательно продуманными теориями о природе облаков и их движения. Почему? Потому что при установившейся объяснительной теории погоды было совершенно ясно, что движение облаков непредсказуемо. Здравый смысл под-

сказывает, что движение облаков зависит от ветра. Когда они движутся в другом направлении, разумно предположить, что на разной высоте ветер может быть разным, и его направление вряд ли возможно предугадать, а потому легко сделать вывод, что объяснять больше нечего. Некоторые люди, несомненно, переносили этот взгляд на планеты и считали их просто сияющими объектами на небесной сфере, которые приводятся в движение ветром на большой высоте или, возможно, перемещаются ангелами, и большего объяснения не требовалось. Но других это не удовлетворяло: они предполагали, что за блужданием планет стоят более глубокие объяснения. Поэтому они искали такие объяснения и находили их. В одни времена в истории астрономии появлялась масса необъясненных наблюдательных данных, в другие — лишь крупницы таковых, а то и их не было. Но в любой период, выбирая предмет для теоретических рассуждений сообразно объему накопленных наблюдений конкретного явления, люди неизменно должны были бы выбирать облака, а не планеты. Тем не менее они выбирали планеты и делали это по различным причинам. Некоторые причины зависели от предубеждений относительно того, какой должна быть космология, или от доводов древних философов, или от мистической нумерологии. Другие основывались на физике того времени, другие — на математике или геометрии. Некоторые из этих причин, как оказалось, имели объективные достоинства, другие — нет. Но каждая из них сводилась к следующему: кому-то казалось, что существующие объяснения требуют усовершенствования и могут быть улучшены.



Рис. 3.2. Процесс решения проблемы

Проблему обычно решают путем нахождения новых или усовершенствованных теорий, которые содержат объяснения, избавленные от недостатков, но сохраняющие достоинства существовавших

объяснений (рис. 3.2). Таким образом, после того, как проблема проявила себя (этап 1), *всегда* следует *предположение* (или *догадка*, или *гипотеза*): в надежде решить проблему предлагается новая теория или изменяется или переосмысливается старая (этап 2). Затем гипотезы подвергают *критике*, что (если критика рациональна) включает изучение и сравнение теорий, чтобы понять, какая из них предлагает лучшие объяснения относительно критериев, присущих проблеме (этап 3). Если предлагаемая теория не проходит испытание критикой, то есть предлагает худшие объяснения по сравнению с другими теориями, от нее отказываются. Если же мы видим возможность заменить одну из первоначальных теорий на одну из вновь предложенных (этап 4), то мы предварительно считаем, что делаем успехи в решении проблемы. Я говорю «предварительно», потому что последующее решение проблемы, возможно, потребует уточнения или замены даже этих новых, удовлетворительных на первый взгляд теорий, а иногда даже возврата к некоторым из ранее признанных неудовлетворительными. Таким образом, решение, каким бы хорошим оно ни было, еще не конец процесса: это начало процесса решения следующей проблемы (этап 5). Это описание иллюстрирует еще одно заблуждение индуктивизма. В науке цель заключается не в том, чтобы найти теорию, которая будет или может рассчитывать на то, чтобы считаться истиной вечно, а в том, чтобы найти лучшую на данный момент теорию и, если это возможно, уточнить все имеющиеся теории. Научное обоснование предназначено для того, чтобы убедить нас: данное объяснение — лучшее из имеющихся. Оно ничего не говорит, да и не может сказать, относительно того, выдержит ли это объяснение впоследствии новую критику и сравнение объяснениями, которые еще предстоит найти. Хорошее объяснение может дать хорошие предсказания относительно будущего, но ни одно объяснение не способно предугадать содержание или качество своих будущих конкурентов.

То, что я до сих пор описывал, применимо к решению любых проблем, независимо от рассматриваемого предмета или используемых методов рациональной критики. Решение *научных* проблем всегда содержит конкретный метод рациональной критики — *экспериментальную проверку*. Когда две или более конкурирующих

теории дают различные предсказания результатов эксперимента, этот эксперимент проводят, а теорию или теории, предсказания которых оказались ложными, отвергают. Сама структура научных предположений направлена на нахождение объяснений, которые имеют экспериментально проверяемые предсказания. В идеале мы всегда ищем *решающие экспериментальные проверки* — эксперименты, результаты которых, какими бы они ни были, укажут на несостоятельность одной или нескольких конкурирующих теорий. Этот процесс показан на рис. 3.3. Независимо от того, была ли постановка проблемы стимулирована некими наблюдениями (этап 1) и разрабатывались ли конкурирующие теории (на этапе 2) в расчете на проверку, именно на этой, критической, фазе научного открытия (этап 3) экспериментальные проверки играют решающую и определяющую роль. Эта роль состоит в том, чтобы сделать вывод о негодности некоторых из конкурирующих теорий на том основании, что их объяснения приводят к неверным предсказаниям. Здесь я должен упомянуть об асимметрии, которая очень важна в философии и методологии науки: асимметрии между экспериментальным опровержением и экспериментальным подтверждением. Тогда как неправильное предсказание автоматически переводит лежащее в его основе объяснение в разряд неудовлетворительных, правильное предсказание вообще ничего не говорит об объяснении, лежащем в его основе. Низкосортных объяснений, дающих правильные предсказания, хоть отбавляй, что должны бы иметь в виду разные любители НЛО, сторонники теорий заговора и псевдоученые любого сорта (но чего они никогда не делают).

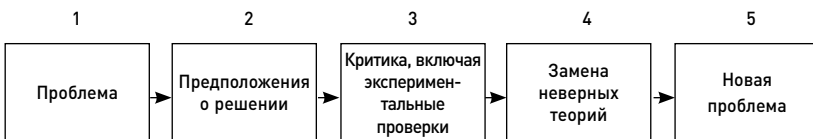


Рис. 3.3. Последовательность научного открытия

Если теорию о наблюдаемых событиях невозможно проверить, то есть ни одно возможное наблюдение ее не исключит, значит, она сама не может объяснить, почему эти события происходят именно

так, как наблюдается, а не иначе. Например, «ангельскую» теорию движения планет проверить невозможно, потому что независимо от того, как планеты движутся, это движение можно приписать влиянию ангелов; следовательно, теория ангелов не может объяснить конкретное движение планет, которое мы видим, пока его не дополнит теория о том, как движутся ангелы. Именно поэтому в науке есть методологическое правило, которое гласит, что, как только теория, которую можно экспериментально проверить, прошла соответствующую проверку, любые другие *менее* проверяемые теории, конкурирующие с ней и касающиеся того же явления, отвергают сразу же, поскольку их объяснения, несомненно, окажутся хуже. Часто говорят, что это правило отличает науку от других методов создания знаний. Но, принимая то, что наука заключается в объяснениях, мы понимаем, что в действительности это правило — специальный случай общего подхода, естественным образом применимого к решению любых проблем: *теории, способные дать более подробные объяснения, автоматически становятся предпочтительными*. Их предпочтительность связана с двумя причинами. Первая состоит в том, что теория, «рискующая» высказываться более конкретно относительно большего числа явлений, открывает себя и своих соперников большему количеству форм критики, а следовательно, у нее больше шансов продвинуть вперед процесс решения проблемы. Вторая причина — просто в том, что, если такая теория выдержит критику, она оставит меньше необъясненного, что и является целью науки.

Я уже отмечал, что даже в науке экспериментальные проверки не составляют большую часть критики. Так происходит потому, что научная критика в основном направлена не на предсказания, которые дает теория, а непосредственно на объяснения, лежащие в ее основе. Проверка предсказаний — это лишь косвенный способ проверки объяснений (исключительно мощный, впрочем, когда его можно использовать). В главе 1 я привел пример «лечения травой» — теории о том, что, съев килограмм травы, можно вылечиться от простуды. Эту теорию и множество других, ей подобных, легко проверить. Но мы можем критиковать и отбрасывать их, даже не проводя эксперименты, просто на основе того, что они объяс-

няют не больше господствующих теорий, которым они противоречат, но делают новые допущения, которые невозможно объяснить.

Стадии научного открытия, показанные на рис. 3.3, редко удается пройти последовательно с первой попытки. До завершения, или, лучше сказать, *решения* каждого этапа обычно происходит многократный возврат назад, поскольку на каждом этапе может возникнуть проблема, для решения которой необходимо пройти все пять этапов вспомогательного процесса решения. Это применимо даже к этапу 1, поскольку инициировавшая весь процесс проблема не является неизменяемой. Если мы не можем придумать хороших вариантов решения, мы можем вернуться на первый этап и попытаться сформулировать проблему иначе, а возможно, и выбрать другую проблему. На самом деле кажущаяся нерешаемость — только одна из множества причин, почему зачастую мы хотим изменить проблемы, которые решаем. Некоторые варианты проблемы неизбежно будут интереснее или теснее связаны с иными проблемами; другие — лучше сформулированы; третьи кажутся потенциально более плодотворными или более неотложными и т. д. Часто вопрос о том, в чем именно заключается проблема и какие качества должны быть присущи «хорошему» объяснению, подвергается такой же критике и порождает такие же предположения, что и попытки решения.

Сходным образом, если критика на этапе 3 не позволит выбрать одну из конкурирующих теорий, мы попытаемся избобрести новые методы критики. Если и это не приведет к прогрессу, можно вернуться на этап 2 и уточнить предлагаемые решения (и существующие теории) так, чтобы извлечь из них больше объяснений и предсказаний, облегчив тем самым поиск недостатков. Можно также вновь вернуться к этапу 1 и попытаться найти лучшие критерии, которым должны удовлетворять объяснения. И так далее.

Помимо этого постоянного возврата нужно помнить, что многие подпроблемы остаются активными одновременно, и к ним приходится обращаться по мере необходимости. И лишь когда открытие сделано, его четкое обоснование предстает в виде последовательности, похожей на рис. 3.3. Эта последовательность может начаться с самого последнего и наилучшего варианта проблемы; затем по-

казать, почему некоторые из отвергнутых теорий не выдержали критики; далее сформулировать победившую теорию и сказать, почему она выдержала критику; объяснить, как обойтись без отброшенной старой теории; и, наконец, указать несколько новых проблем, которые это открытие создает или которые могут возникнуть.

Когда проблема все еще находится в процессе решения, мы имеем дело с огромным неоднородным набором идей, теорий и критериев, представленных во многих вариантах, которые конкурируют между собой за выживание. Существует непрерывная смена теорий по мере того, как они изменяются или их вытесняют новые теории. Таким образом, все теории подвергаются *вариации* и *отбору* в соответствии с критериями, которые тоже подвергаются вариации и отбору. Весь процесс напоминает биологическую эволюцию. Проблема подобна экологической нише, а теория — гену или виду, который проверяют на жизнеспособность в этой нише. Подобно генетическим мутациям, постоянно создаются новые варианты теорий, и менее удачные варианты отмирают, когда им на смену приходят более удачные. «Успех» — это способность выживать раз за разом под давлением отбора (критики), действующим в этой нише, причем критерии критики частично зависят от физических характеристик ниши и частично — от качеств, присущих другим генам и видам (т. е. другим идеям), которые там уже присутствуют. Новый взгляд на мир, который может подразумеваться теорией, решающей проблему, и отличительные черты нового вида, который захватывает нишу, — это *эмерджентные* свойства проблемы или ниши. Другим словами, процесс получения решений в силу своей природы сложен. Не существует простого способа открыть истинную природу планет, если даны, скажем, критика теории небесной сферы и некоторые дополнительные наблюдения, так же как не существует простого способа придумать ДНК коалы, опираясь на свойства эвкалиптов. Эволюция или метод проб и ошибок — особенно сконцентрированная, целенаправленная форма этого метода, называемая научным открытием, — единственный способ осуществить это.

Именно по этой причине Поппер назвал свою теорию о том, что знание увеличивается только через предположения и опровер-

жения в духе рис. 3.3, *эволюционной эпистемологией*. Это важное объединяющее понимание, и мы увидим, что между этими нитями существуют и другие связи. Но я не хочу преувеличивать сходство научного открытия и биологической эволюции, поскольку между ними существуют и значительные отличия. Одно из отличий заключается в том, что в биологии вариации (мутации) происходят беспорядочно, они слепы и бесцельны, тогда как при решении проблем человеком создание новых предположений — процесс сам по себе сложный, нагруженный знаниями и движимый намерениями людей, в нем заинтересованных. Но, может быть, даже более важное отличие заключается в отсутствии биологического эквивалента *аргумента*. Все предположения необходимо проверять экспериментально, и это является одной из причин того, что биологическая эволюция протекает в астрономическое число раз медленнее и менее эффективно. Тем не менее между этими двумя типами процессов существует не просто аналогия, а более глубокая связь: они входят в число моих четырех тесно сплетенных между собой «основных нитей» объяснения структуры реальности.

Как в науке, так и в биологической эволюции эволюционный успех зависит от создания и выживания *объективного знания*, которое в биологии называется *адаптацией*. То есть способность теории или гена выжить в нише — не случайная функция его структуры: она зависит от того, достаточно ли истинной и полезной информации о нише закодировано в ней явно или неявно. К этому я вернусь в главе 8.

Теперь становится понятнее, что оправдывает те выводы, которые мы делаем из наблюдений. Выводы никогда не делаются из одних лишь наблюдений, но наблюдения могут сыграть значительную роль в процессе доказательства, показывая недостатки некоторых конкурирующих объяснений. Мы выбираем научную теорию, потому что аргументы, лишь немногие из которых зависят от наблюдений, убедили нас (на данный момент), что объяснения, предлагаемые всеми известными конкурирующими теориями, менее верны, менее обширны или глубоки.

Давайте сравним рис. 3.1 и 3.3. Посмотрите, насколько различны эти две концепции научного процесса. Индуктивизм ос-

новывается на наблюдениях и предсказаниях, тогда как наука в действительности основывается на проблемах и объяснениях. Индуктивизм предполагает, что теории каким-то образом извлекаются или выжимаются из наблюдений, или доказывают с помощью наблюдений, тогда как в действительности теория начинается как недоказанное предположение, возникшее в чем-то разуме и, как правило, *предшествующее* наблюдениям, которые исключили бы конкурирующие теории. Индуктивизм пытается доказать, что предсказания, вероятно, будут сбываться и в будущем. Процесс решения проблем обосновывает, что некое объяснение превосходит все остальные имеющиеся на данный момент объяснения. Индуктивизм — опасный и постоянный источник ошибок разного рода, потому что, на первый взгляд, он весьма правдоподобен. Но это заблуждение.

Успешно решая проблему, научную или любую другую, в конечном итоге мы получаем набор теорий, которые, хотя они и не свободны от проблем, но предпочтительны по сравнению с существовавшими ранее. Какие новые качества будут присущи новым теориям, зависит поэтому от того, что мы считаем недостатками наших первоначальных теорий, то есть от того, в чем заключалась проблема. Наука характеризуется как своими проблемами, так и своими методами. Астрологи, решающие проблему составления более завлекательных гороскопов без риска быть пойманными на ошибках, вряд ли создали много того, что заслуживало бы статуса научного знания, даже если они использовали настоящие научные методы (например, исследование рынка) и сами в достаточной степени удовлетворены найденным решением. Задача настоящей науки всегда заключается в том, чтобы понять какой-то аспект структуры реальности, изыскивая объяснения, настолько обширные и глубокие, истинные и точные, насколько это возможно.

Когда мы считаем, что решили проблему, то, естественно, принимаем новый набор теорий вместо старого. Именно поэтому наука, рассматриваемая как поиск объяснений и решение проблем, не сталкивается с «проблемой индукции». Нет никакой тайны в том, почему мы чувствуем себя обязанными временно принять объяснение, которое является лучшим из всех нами придуманных.

Терминология

Соллипсизм — теория о том, что существует только один разум, а то, что кажется внешней реальностью, — не более чем сон этого разума.

Проблема индукции — поскольку научные теории невозможно логически доказать с помощью наблюдений, то как их можно доказать?

Индукция — придуманный процесс, с помощью которого, как считалось, общие теории были получены из накопленных наблюдений или доказаны с их помощью.

Проблема существует, когда кажется, что некоторые наши теории, а особенно объяснения, которые они содержат, неадекватны и требуют усовершенствования.

Рациональная критика сравнивает конкурирующие теории с целью определить, какая из них предлагает наилучшие объяснения в соответствии с критериями, присущими проблеме.

Цель науки — понять реальность через объяснения. Характерный (хотя и не единственный) *метод критики*, используемый в науке, — экспериментальная проверка.

Экспериментальная проверка — эксперимент, результат которого может доказать ложность одной или нескольких конкурирующих теорий.

Резюме

В фундаментальных областях науки наблюдение даже небольших, едва различимых эффектов приводит нас к грандиозным заключениям относительно природы реальности. Тем не менее эти выводы невозможно логически получить только из наблюдений. Что же делает их убедительными? Это — «проблема индукции». Индуктивизм утверждает, что научные теории открывают, экстраполируя результаты наблюдений, и доказывают, получая подтверждающие их наблюдения. На самом деле индуктивное рассуждение неправильно, и невозможно экстраполировать наблюдения, если для них не найдено уже объяснительного каркаса. Однако опровержение

индуктивизма, а также действительное решение проблемы индукции зависит от признания того, что наука — это не процесс выведения предсказаний из наблюдений, а процесс поиска объяснений. Мы ищем объяснения, когда возникают проблемы с уже существующими объяснениями. Тогда мы запускаем процесс решения проблемы. Новые объяснительные теории начинаются как недоказанные предположения, которые мы критикуем и сравниваем в соответствии с критериями, присущими проблеме. Теории, которые не выдерживают критики, мы отбрасываем. Теории, выдержавшие критику, становятся господствующими, но некоторые из них сами содержат проблемы и потому приводят нас к поиску еще лучших объяснений. Весь процесс напоминает биологическую эволюцию.

Таким образом, мы приобретаем все больше знаний о реальности, решая проблемы и находя лучшие объяснения. Но когда все сказано и сделано, проблемы и объяснения размещаются в человеческом разуме, который своей способностью рассуждать обязан подверженному ошибкам мозгу, а доставкой информации — подверженным ошибкам чувствам. Что же тогда дает человеческому разуму право делать заключения об объективной внешней реальности, исходя из своих чисто субъективных опыта и рассуждений?

Критерии реальности

Великий Галилео Галилей, которого, пожалуй, можно считать первым физиком в современном смысле, сделал много открытий не только в самой физике, но и в методологии науки. Он воскресил древнюю идею о выражении общих теорий, касающихся природы, в математической форме и усовершенствовал ее, разработав метод систематических экспериментальных проверок, который и характеризует науку, какой мы ее знаем. Он удачно назвал такие проверки *cimenti*, или «Божий суд». Он одним из первых начал использовать телескопы для изучения небесных тел, собрал и проанализировал свидетельства в пользу гелиоцентрической теории — теории о том, что Земля движется по орбите вокруг Солнца и вращается вокруг собственной оси. Он широко известен как защитник этой теории, из-за которой он и вступил в ожесточенный конфликт с Церковью. В 1633 году инквизиция судила его как еретика и под угрозой пыток принудила встать на колени и вслух прочитать длинное унижительное отречение, в котором говорилось, что он «отрекается» от гелиоцентрической теории, «проклинает и ненавидит» ее. (Легенда гласит, может и ошибочно, что, поднявшись на ноги, он пробормотал «*errur si tuove...*», что значило «и все-таки она движется...»¹.) Несмотря на это отречение, его осудили и приговорили к домашнему аресту, под которым он оставался до конца своей жизни. Хотя это

¹ Обычно слова Галилея приводятся в чуть-чуть иной формулировке: «И все-таки она вертится!» — *Прим. ред.*

наказание было сравнительно мягким, оно вполне достигло своей цели. Как сказал об этом Джейкоб Броновски:

«В результате среди всех ученых-католиков на долгие годы воцарилось молчание... Цель суда и заключения состояла в том, чтобы положить конец научной традиции Средиземноморья» (*The Ascent of Man*, p. 218).

Каким образом спор об устройстве Солнечной системы мог иметь столь далеко идущие последствия, и почему его участники столь страстно отстаивали свои позиции? Дело в том, что на самом деле спор шел не об устройстве Солнечной системы, а о том, как блестяще Галилей защищал новый и опасный способ осмысления реальности. Спор шел не о существовании реальности, поскольку как Галилей, так и Церковь верили в *реализм* — основанный на здравом смысле взгляд на мир, согласно которому видимая физическая вселенная действительно существует и воздействует на наши органы чувств, в том числе и если они усилены приборами, такими как телескоп. В чем Галилей расходился с Церковью, так это в своем понимании отношения между физической реальностью с одной стороны и человеческими мыслями, наблюдениями и рассуждениями — с другой. Он считал, что вселенную можно понять, основываясь на универсальных, математически сформулированных законах, и что все люди могут получить надежное знание этих законов, если применяют его метод математического описания и систематической экспериментальной проверки. Говоря его словами, «книга Природы написана математическими символами». Это было явным противопоставлением другой Книге, на которую было принято полагаться.

Галилей понимал, что если его метод действительно надежен, то, где бы его ни применяли, его выводы всегда будут предпочтительнее полученных с помощью других методов. Поэтому он настаивал, что научное рассуждение превосходит не только интуицию и здравый смысл, но и религиозное учение и его откровения. Именно эту идею, а не гелиоцентрическую теорию как таковую, власти сочли опасной. (И они были правы, потому что если говорить об идее, способной вызвать научную революцию и Просвещение, заложив

фундамент современной светской цивилизации, то это была именно она.) Было запрещено «придерживаться» гелиоцентрической теории или «защищать» ее *как объясняющую* вид ночного неба. Однако использовать эту теорию, писать о ней, использовать ее «как математическое допущение» или защищать ее как метод приготовления предсказаний — все это было разрешено. Именно поэтому книгу Галилея «Диалог о *двух* главнейших *системах* мира», которая сравнивала гелиоцентрическую теорию с официальной геоцентрической, церковные цензоры разрешили к печати. Папа заранее дал свое согласие на написание Галилеем этой книги (хотя на суде и был создан вводивший в заблуждение документ о том, что Галилею было запрещено вообще обсуждать этот предмет).

С точки зрения истории интересна следующая деталь: во времена Галилея вопрос о том, дает ли гелиоцентрическая теория лучшие предсказания, чем геоцентрическая, еще не считался бесспорным. Имевшиеся наблюдения были не слишком точными. Для повышения точности геоцентрической теории предлагались подгоночные приемы, и было трудно количественно оценить предсказательную силу двух конкурирующих теорий. Более того, когда вникаешь в детали, оказывается, что гелиоцентрическая теория существует не одна. Галилей считал, что планеты движутся по окружностям, тогда как на самом деле их орбиты весьма близки к эллипсам. Таким образом, наблюдательные данные не вписывались в ту *конкретную* гелиоцентрическую теорию, которую защищал Галилей. (Несмотря на то, что убедили его как раз собранные наблюдения!) Так или иначе, Церковь не заняла в этом споре никакой позиции. Инквизиции было безразлично, где планеты *были видны*; ее заботила только реальность. Ее заботило, где действительно находятся планеты, и она, точно так же как и Галилей, стремилась понять планеты через объяснения. Инструменталисты и позитивисты сказали бы, что, поскольку Церковь была полностью готова принять наблюдательные предсказания Галилея, дальнейший спор между ними был нецелесообразен, а его слова «*и все-таки она движется*» были абсолютно бессмысленны. Но Галилею было виднее, как и инквизиции. Отрицая надежность научного знания, инквизиторы подразумевали именно его объяснительную часть.

Их мировоззрение было ошибочным, но оно не было нелогичным. Да, они считали откровение и авторитет традиции источниками надежного знания. Но у них была и независимая причина критиковать надежность знания, полученного методами Галилея. Они могли просто указать на то, что никакое количество наблюдений или доводов не способно доказать, что одно объяснение физического явления истинно, а другое ложно. Они могли бы сказать, что Бог способен произвести те же самые наблюдаемые эффекты бесконечно большим числом разных способов, а потому заявлять о своем знании того метода, который Он выбрал, основываясь только на своих собственных подверженных ошибкам наблюдениях и причинах, — это чистой воды тщеславие и самоуверенность.

В каком-то смысле они призывали к скромности и признанию подверженности человека ошибкам. И если Галилей заявлял, что гелиоцентрическая теория неким образом доказана, или близко к тому, в некотором индуктивном смысле, то у его оппонентов были сильные возражения. Если Галилей считал, что его методы могут обеспечить любой теории авторитет, сравнимый с тем, который Церковь приписывала своим доктринам, они имели право критиковать его за самонадеянность (или, как они говорили, за богохульство), хотя, безусловно, по тем же самым стандартам они были самонадеянны в намного большей степени.

Так как же мы можем защитить Галилея от инквизиции? Какой должна была быть защита Галилея перед обвинением в том, что он слишком много берет на себя, заявляя, что научные теории содержат надежное знание о реальности? Попперовской защиты науки, как процесса решения проблем и поиска объяснений, самой по себе недостаточно. Дело в том, что сама Церковь была прежде всего заинтересована в объяснениях, а не в предсказаниях, и не препятствовала тому, чтобы Галилей решал проблемы с помощью любой выбранной им теории. Она не соглашалась лишь с тем, что решения Галилея (которые она предпочитала называть лишь «математическими гипотезами») имеют какое-то отношение к внешней реальности. Решение проблем — это процесс, полностью происходящий в человеческом сознании. Возможно, Галилей видел весь мир как книгу, в которой законы природы записаны математиче-

скими символами. Однако это всего лишь метафора; ведь объяснения не написаны на орбите рядом с планетами. Факт в том, что все наши проблемы и решения находятся в нас и созданы нами. Решая научные проблемы, мы через обсуждение приходим к тем теориям, объяснения которых кажутся нам наилучшими. То есть, ни в коей мере не отрицая, что решать проблемы — правильно, должно и полезно, инквизиция и современные скептики вправе спросить нас, как связано решение научных проблем с реальностью. Наши «лучшие объяснения» могут казаться нам психологически удовлетворительными. Мы можем считать их полезными для подготовки предсказаний. Мы, безусловно, находим их важными в любой области технического творчества. Все это оправдывает наш непрерывный поиск этих решений и использование их в этих целях. Но почему мы обязаны принимать их как факт? Заявление, которое инквизиция вынудила сделать Галилея, по существу состояло в следующем: в действительности Земля неподвижна, а Солнце и планеты движутся вокруг нее; но траектории движения этих небесных тел устроены сложным образом, который, если встать на точку зрения наблюдателя на Земле, также согласуется и с тем, что Солнце неподвижно, а Земля и планеты движутся. Я назову это «инквизиционной теорией» Солнечной системы. Будь инквизиционная теория верной, мы бы все равно ожидали, что гелиоцентрическая теория даст точные предсказания относительно результатов всех астрономических наблюдений с Земли, пусть даже фактически она и ложна. Следовательно, может показаться, что любые наблюдения, которые вроде бы подтверждают гелиоцентрическую теорию, в равной степени подтверждают и инквизиционную теорию.

При желании можно было бы расширить инквизиционную теорию для учета более детальных наблюдений, которые поддерживали гелиоцентрическую теорию, таких как наблюдение фаз Венеры и маленьких дополнительных движений (называемых «собственными движениями») некоторых звезд относительно небесной сферы. Для этого необходимо было бы постулировать даже более сложные движения в пространстве, управляемые законами физики, весьма отличными от тех, которые действуют на нашей предположительно неподвижной Земле. Но эти движения отличались бы

в точности таким образом, чтобы с точки зрения наблюдений оставаться согласованными с Землей, находящейся в движении, и с законами, которые существуют здесь. Возможно множество подобных теорий. В самом деле, если бы требование правильных предсказаний было нашим единственным ограничением, мы могли бы изобрести теории о том, что в космическом пространстве происходит все, что нам угодно. Например, одни лишь наблюдения никогда не позволили бы исключить теорию о том, что Земля заключена в гигантский планетарий, представляющий нам имитацию гелиоцентрической Солнечной системы, и что вне этого планетария находится все, что вашей душе угодно, или вообще ничего. Конечно, чтобы учесть современные наблюдения, следует признать, что планетарию также пришлось бы перенаправлять импульсы наших радаров и лазеров, захватывать наши космические зонды и даже космонавтов, посылать обратно ложные сообщения от них и возвращать их с подходящими образцами лунного грунта, изменять наши воспоминания и т. д. Возможно, эта теория абсурдна, но проблема в том, что ее невозможно исключить с помощью эксперимента.

Кроме того, ни одну теорию недопустимо исключать, основываясь только на том, что она «абсурдна»: ведь инквизиция, да и большинство людей во времена Галилея, считали верхом абсурда заявлять, что Земля движется. Ведь мы же не можем почувствовать ее движение, не так ли? Когда она на самом деле движется, как при землетрясении, мы чувствуем это безошибочно. Говорят, что Галилей в течение нескольких лет откладывал публичное выступление в защиту гелиоцентрической теории не из-за боязни инквизиции, а из-за боязни быть осмеянным.

Нам инквизиционная теория кажется безнадежно запутанной. Почему мы должны принимать такой сложный и набитый произвольными допущениями рассказ, объясняющий вид неба, когда «голая» гелиоцентрическая космология дает то же самое, только с меньшим количеством суеты? Мы можем сослаться на принцип бритвы Оккама: «Не умножай сущности сверх необходимого», — или, как я предпочитаю формулировать эту же идею, — «не усложняй объяснения сверх необходимого», потому что, если вы сделаете это, излишние усложнения сами останутся без объяснения. Однако

признание объяснения «запутанным» или «излишне усложненным» зависит от всех остальных идей и объяснений, которые составляют мировоззрение человека. Инквизиция сказала бы, что идея о движущейся Земле — излишнее усложнение. Эта идея противоречит здравому смыслу; она противоречит Писанию; и (они сказали бы) существует прекрасное объяснение, которое вполне обходится без нее.

Но существует ли? Действительно ли инквизиционная теория дает альтернативные объяснения без необходимости вводить контринтуитивные «усложнения» гелиоцентрической системы? Давайте рассмотрим подробнее, каким образом объясняет вещи инквизиционная теория. Она объясняет видимую неподвижность Земли, говоря, что она *является* неподвижной. Замечательно! На первый взгляд, это объяснение лучше, чем у Галилея, которому пришлось немало потрудиться и вступить в противоречие с некоторыми общепринятыми представлениями о силе и инерции, чтобы объяснить, почему мы не ощущаем движения Земли. Но как инквизиционная теория справится с более сложной задачей объяснения движения планет?

Гелиоцентрическая теория объясняет их движение так. Мы видим, как планеты движутся по небу сложными петлями, потому что в действительности они движутся в пространстве по простым окружностям (или эллипсам), но и Земля тоже движется. Объяснение инквизиции заключается в том, что мы видим, как планеты движутся по небу сложными петлями, потому что они действительно описывают в пространстве сложные петли; но (и здесь в соответствии с инквизиционной теорией следует суть объяснения) этим сложным движением управляет простой основной принцип, а именно: планеты движутся так, что, когда мы смотрим на них с Земли, кажется, что и они, и Земля движутся по простым орбитам вокруг Солнца.

Чтобы понять движение планет на языке инквизиционной теории, необходимо понять сам этот принцип, поскольку налагаемые им ограничения — основа любых конкретных объяснений, которые можно дать в рамках этой теории. Например, если бы кого-то спросили, почему соединение планет произошло такого-то числа или почему планета пошла по небу вспять, описывая петлю определен-

ной формы, ответ всегда был бы следующим: «Потому что именно так все выглядело бы, если бы гелиоцентрическая теория была истинной». Итак, мы имеем дело с космологией — космологией инквизиции, — понимаемой лишь на основе отличной от нее, гелиоцентрической космологии, которой она противоречит, но которую при этом полностью копирует.

Если бы инквизиция всерьез попыталась понять мир на основе теории, которую она пыталась навязать Галилею, она бы тоже поняла ее губительную слабость, а именно: что она не решает ту проблему, на решение которой претендует. Она не объясняет движение планет «без усложнений, присущих гелиоцентрической системе». Напротив, она неизбежно включает эту систему как часть своего собственного принципа объяснения движения планет. Невозможно понять мир через теорию инквизиции, не поняв прежде гелиоцентрическую теорию.

Следовательно, мы не ошибаемся, когда считаем инквизиционную теорию витиеватой обработкой гелиоцентрической теории, а не наоборот. Мы пришли к такому выводу, не сравнивая теорию инквизиции с современной космологией, что было бы равноценно замкнутому кругу в рассуждениях, а пытаясь всерьез принять эту теорию, как она есть, в качестве объяснение мира. Я уже упоминал теорию о лечении с помощью травы, которую можно исключить без экспериментальной проверки, поскольку она не содержит объяснений. Теперь же у нас есть теория, которую можно исключить без экспериментальной проверки, поскольку она содержит плохие объяснения — объяснения, которые сами по себе хуже, чем те, которые предлагает конкурирующая теория.

Как я уже сказал, инквизиторы были реалистами. Тем не менее их теория имеет общую с солипсизмом черту: и та и другая проводят произвольную границу, за которую, как они утверждают, человеческий разум не имеет доступа, или за которой, по крайней мере, решение проблем не является путем к пониманию. Для солипсистов эта граница тесно окружает их собственный мозг, или, возможно, их абстрактный разум, или нематериальную душу. Для инквизиции эта граница включает в себе всю Землю. Некоторые современные креационисты верят в существование такой же

границы, только не пространственной, а временной, поскольку они считают, что вселенная была создана всего 6000 лет назад и дополнена вводящими в заблуждение свидетельствами о более ранних событиях. *Бихевиоризм* — это доктрина о том, что не имеет смысла объяснять поведение людей на основе внутренних психических процессов. Для бихевиористов единственной приемлемой психологией является изучение наблюдаемых реакций человека на внешние раздражители. Таким образом, они проводят точно такую же границу, как и солипсисты, отделяя человеческий разум от внешней реальности; только солипсисты говорят, что бессмысленно рассуждать о чем-то, находящемся вне этой границы, а бихевиористы утверждают, что бессмысленно говорить о том, что находится внутри нее.

Существует большой класс родственных теорий, но мы вполне можем рассматривать их все как варианты солипсизма. Они отличаются друг от друга тем, где проводят границу реальности (или границу той части реальности, которая постигаема через решение проблем), и тем, ищут ли они знание по другую сторону этой границы и как. Но все они считают, что научный рационализм и иные способы решения проблем неприменимы за пределами этой границы и становятся там просто игрой. Они могут допускать, что эта игра приносит удовольствие и пользу, но тем не менее она остается лишь игрой, из которой невозможно сделать обоснованных выводов относительно реальности, находящейся по другую сторону границы.

Они похожи между собой тем, что не признают решение проблем в качестве средства создания знаний, поскольку этот метод не извлекает выводов из какого бы то ни было абсолютного источника обоснований. В рамках выбранных ими границ сторонники всех этих теорий полагаются на методологию решения проблем, будучи уверенными в том, что поиск лучшего из имеющихся объяснений — это также и способ найти самую истинную из имеющихся теорий. Но истину относительно того, что находится за пределами этих границ, они ищут где-то еще, и все они ищут источник абсолютных обоснований. Для религиозных людей роль такого источника может сыграть божественное откровение. Солипсисты дове-

ряют только непосредственному опыту своих собственных мыслей, как это выражено в классическом заявлении Рене Декарта: *cogito ergo sum* («мыслю, следовательно, существую»).

Несмотря на стремление строить свою философию на этой вроде бы твердой основе, в действительности Декарт позволял себе делать много других допущений и определенно не был солипсистом. На самом деле в истории было очень мало истинных солипсистов, если таковые были вообще. Солипсизм обычно защищали лишь как средство нападок на научное рассуждение или как трамплин к одному из многих его вариантов. И по той же причине хороший способ защитить науку от всевозможной критики и понять истинную связь между разумом и реальностью — это рассмотреть аргументы против солипсизма.

Есть стандартная философская шутка о профессоре, читающем лекцию в защиту солипсизма. Лекция настолько убедительна, что, как только она заканчивается, несколько студентов спешат позвать профессору руку. «Великолепно. Я согласен с каждым словом», — искренне признается один студент. «Я тоже», — говорит другой. «Мне очень приятно это слышать, — говорит профессор. — Так редко представляется возможность встретить со- братьев-солипсистов».

В этой шутке неявно присутствует подлинный аргумент против солипсизма. Его можно сформулировать следующим образом. В чем конкретно заключалась теория, с которой соглашались эти студенты? Была ли это теория профессора о том, что студентов не существует, потому что существует только профессор? Чтобы в это поверить, им прежде всего необходимо было каким-то образом обойти аргумент Декарта *cogito ergo sum*. И если бы у них это получилось, они бы уже не были солипсистами, поскольку основное положение солипсизма заключается в том, что солипсист существует. Или каждый студент был убежден в теории, *противоречащей* тому, что излагал профессор, а именно в теории о том, что существует этот конкретный студент, но нет ни профессора, ни других студентов? Это на самом деле сделало бы их всех солипсистами, но ни один из студентов не согласился бы тогда с теорией, которую отстаивал профессор. Следовательно, ни одна из этих возмож-

ностей не означает, что защита солипсизма профессором убедила студентов. Если они согласятся с мнением профессора, они не будут солипсистами, а если они станут солипсистами, они будут уверены в том, что профессор ошибается.

Этот аргумент нацелен на то, чтобы показать, что солипсизм невозможно защитить буквально, потому что, соглашаясь с подобной защитой, человек неявно противоречит ей. Но наш профессор-солипсист мог бы попытаться справиться с этим возражением, говоря примерно так: «Я могу защитить солипсизм непротиворечиво и делаю это. Не от других людей, поскольку других людей не существует, но от враждебных аргументов. Эти аргументы попадают в поле моего внимания от людей из сна, которые ведут себя как мыслящие существа, часто противопоставляющие свои идеи моим. Моя лекция и содержащиеся в ней аргументы направлены не на то, чтобы убедить этих людей из сна, а на то, чтобы убедить себя — помочь себе прояснить свои мысли».

Однако если существуют источники идей, которые ведут себя, как если бы они были независимы от меня, то они с необходимостью являются независимыми от меня. Если я определяю «себя» как сознательную сущность, обладающую мыслями и чувствами, наличие которых я осознаю, то «люди из сна», с которыми, как мне кажется, я взаимодействую, — это по определению нечто отличное от узко определенного «меня», а потому я должен признать, что кроме меня существует что-то еще. Единственная иная точка зрения, которую я мог бы занять, если бы был убежденным солипсистом, состояла в том, чтобы считать людей из сна созданиями моего подсознательного разума и, следовательно, частью «меня» в более широком смысле. Но тогда я вынужден был бы допустить, что у «меня» очень богатая структура, большая часть которой не зависит от моего сознательного «я». В рамках этой структуры присутствуют некоторые сущности — люди из сна, которые, несмотря на то что являются всего лишь составляющими разума предполагаемого солипсиста, ведут себя, словно являются убежденными *анти*-солипсистами. Поэтому я не мог бы назвать себя солипсистом целиком и полностью, ведь этого взгляда придерживалась бы только узко определенная часть меня. Множество, а, по-видимому, даже

большинство мнений, находящихся в пределах моего разума в целом, противостояли бы солипсизму. Я мог бы изучить «внешнюю» часть себя и обнаружить, что она, по-видимому, подчиняется определенным законам — тем самым законам, которые, по словам учебников из сна, применимы к тому, что они называют физической вселенной. Я обнаружил бы, что во внешней части содержится гораздо больше, чем во внутренней. Помимо того, что она содержит больше идей, она также более сложна, более разнообразна и обладает буквально в астрономическое число раз большим количеством измеримых переменных по сравнению с внутренней областью.

Более того, эта внешняя часть поддается научному изучению с помощью методов Галилея. Поскольку я вынужден теперь определить эту область как часть себя, солипсизм уже не имеет аргумента против обоснованности такого изучения, которое теперь определяется как всего лишь форма интроспекции. Солипсизм допускает, а в действительности и предполагает, что знание о самом себе можно получить посредством интроспекции. Он не может объявить, что изучаемые сущности и процессы нереальны, поскольку реальность самого себя — его основной постулат.

Таким образом, мы видим, что, если воспринять солипсизм всерьез (если принять, что это истина и что все обоснованные объяснения должны ему в точности соответствовать), он разрушает сам себя. Чем же солипсизм, если принять его всерьез, отличается от своего основанного на здравом смысле соперника — реализма? Разница сводится всего лишь к некой схеме переименований. Солипсизм настаивает на том, чтобы называть объективно различные вещи (например, внешнюю реальность и мой подсознательный разум, или интроспекцию и научное наблюдение) одинаковыми именами. Но затем ему приходится вновь ввести различие через объяснения на основе чего-то вроде «внешней части себя». Но такие дополнительные объяснения не понадобились бы, если бы солипсизм не настаивал на необъяснимых переменах имен. Солипсизм должен также постулировать существование еще одного класса невидимых и необъяснимых процессов, которые дают разуму иллюзию жизни во внешней реальности. Солипсизм, уверенный, что не существует ничего, кроме содержимого его разума, также

должен верить, что этот разум — явление гораздо более многообразное, чем это обычно считается: он содержит мысли, подобные другим людям, подобные планетам, и мысли, подобные законам физики. Эти мысли реальны. Они развиваются сложным образом (или делают вид, что развиваются), и они достаточно независимы, чтобы удивлять, разочаровывать, просвещать или противоречить тому классу мыслей, которые называют себя «я». Таким образом, солипсистское объяснение мира основано на взаимодействии мыслей, а не на взаимодействии объектов. Но эти мысли реальны и взаимодействуют в соответствии с теми же правилами, которые, по словам реалиста, управляют взаимодействием объектов. Таким образом, солипсизм вовсе не является мировоззрением, очищенным от наслоений вплоть до своих первооснов, — в действительности это всего лишь реализм, искаженный и отягощенный дополнительными излишними допущениями — бесполезным багажом, используемым лишь для самооправдания.

Это рассуждение позволяет отбросить солипсизм и все родственные ему теории. Их невозможно защитить. Между прочим, на этой основе мы уже отвергли одно из мировоззрений, а именно позитивизм (теорию о том, что бессмысленны все утверждения, кроме тех, которые описывают или предсказывают наблюдения). Как я отмечал в главе 1, позитивизм провозглашает свою собственную бессмысленность, и, следовательно, его невозможно непротиворечиво защищать.

А потому мы с прежней уверенностью продолжаем придерживаться диктуемого здравым смыслом реализма и искать объяснения с помощью научных методов. Однако в свете этого вывода что мы можем сказать об аргументах, сделавших солипсизм и родственные ему теории на первый взгляд правдоподобными, то есть такими, что невозможно ни доказать их ложность, ни исключить их путем эксперимента? Каков статус этих аргументов в настоящий момент? Если мы так и не доказали, что солипсизм ложен, и не исключили его с помощью эксперимента, что же мы *сделали*?

Этот вопрос содержит в себе допущение относительно того, что теории можно расположить в виде иерархии: «математические» → «научные» → «философские» — в порядке уменьшения

присущей им надежности. Многие люди принимают существование такой иерархии как должное, несмотря на то что эти суждения о сравнительной надежности полностью зависят от философских аргументов — аргументов, которые сами себя классифицируют как весьма ненадежные! В действительности идея такой иерархии сродни ошибке редукционистов, о которой я рассказывал в главе 1 (теории о том, что микроскопические законы и явления более фундаментальны, чем эмерджентные). То же допущение присутствует в индуктивизме, который полагает, что мы можем быть абсолютно уверены в выводах математических доказательств, потому что они дедуктивны, в разумных пределах уверены в научных доказательствах, потому что они «индуктивны», и испытывать вечную нерешительность относительно философских доказательств, которые индуктивизм считает почти что делом вкуса.

Но ни одно из этих утверждений не соответствует истине. Объяснения не обосновываются теми средствами, с помощью которых они были получены; они обосновываются своей лучшей, по сравнению с конкурирующими объяснениями, способностью решать проблемы, к которым они относятся. Именно поэтому аргумент о том, что некую теорию *невозможно защитить*, может быть столь неотразимым. Предсказание или любое допущение, которое невозможно обосновать, может тем не менее быть истинным, но объяснение, которое невозможно защитить, — это не объяснение. Отказ от объяснений «всего лишь» на том основании, что они не подтверждаются неким *абсолютным* объяснением, неизбежно подталкивает к тщетным поискам абсолютного источника обоснований. Но такого источника не существует.

Не существует и иерархии надежности от математических аргументов к научным и далее к философским. Некоторые философские доказательства, включая доводы против солипсизма, гораздо более убедительны, чем любое научное доказательство. Действительно, каждое научное рассуждение предполагает ложность не только солипсизма, но и других философских теорий, включая многочисленные вариации солипсизма, которые могли бы противоречить конкретным частям научного доказательства. Я также покажу (в главе 10), что даже чисто математические доказательства на-

следуют свою надежность от поддерживающих их физических и философских теорий и, следовательно, не могут обеспечить абсолютную уверенность.

Приняв реализм, мы постоянно сталкиваемся с вопросом о том, реальны или нет те сущности, на которые ссылаются конкурирующие объяснения. Принять решение об их нереальности (как мы сделали это в случае с «ангельской» теорией движения планет) — это все равно что отвергнуть соответствующие объяснения. Таким образом, при поиске и оценке объяснений нам нужно нечто большее, чем опровержение солипсизма. Нам нужно создать основу для того, чтобы принимать или отвергать реальность тех сущностей, которые могут появиться в теориях-претендентах; другими словами, нам необходим критерий реальности. Безусловно, нельзя ожидать, что мы найдем окончательный или безошибочный критерий. Наши суждения о том, что реально, а что — нет, всегда зависят от различных доступных нам объяснений и иногда меняются по мере того, как наши объяснения становятся более совершенными. В XIX веке немногие вещи считались более реальными, чем сила тяготения. Она не только фигурировала в системе законов Ньютона, которая в то время не имела конкурентов: ее мог почувствовать каждый, постоянно, даже с закрытыми глазами — или по крайней мере так всем казалось. Сегодня мы понимаем тяготение не через теорию Ньютона, а через теорию Эйнштейна, и мы знаем, что такой силы не существует. Мы *не ее* чувствуем! Мы ощущаем сопротивление, препятствующее нашему проваливанию сквозь землю под ногами. Ничто не тянет нас вниз. Единственная причина, почему мы падаем, когда теряем опору, заключается в том, что ткань пространства и времени, в которой мы существуем, искривлена.

Изменяются не только объяснения; постепенно изменяются (становятся более совершенными) наши критерии и представления о том, что должно считаться объяснением. Таким образом, список приемлемых способов объяснения всегда будет оставаться открытым, а потому и список приемлемых критериев реальности также должен оставаться открытым. Но что же присутствует в объяснении, — если по каким-то причинам мы считаем его удовлетво-

рительным, — что должно заставить нас классифицировать одни вещи как реальные, а другие как иллюзорные или воображаемые?

Джеймс Босуэлл в своей книге «Жизнь Сэмюэла Джонсона»¹ рассказывает, как они с д-ром Джонсоном обсуждали солипсистскую теорию епископа Беркли о несуществовании материального мира. Босуэлл заметил, что, хотя никто не верит в эту теорию, никто все же не может ее опровергнуть. Джонсон пнул большой камень и, когда его нога отскочила обратно, сказал: «Я опровергаю ее *вот так*». Он имел в виду, что отрицание существования камня по Беркли несовместимо с нахождением объяснения отскоку, который он почувствовал лично. Солипсизм не в состоянии дать ни одного объяснения тому, почему этот или любой другой эксперимент должен давать тот или иной результат. Чтобы объяснить то воздействие, которое оказал на него камень, Джонсон был вынужден принять какую-нибудь позицию относительно природы камней. Часть ли они независимой внешней реальности или только плод его воображения? В последнем случае ему пришлось бы сделать вывод, что «его воображение» само по себе — громадная, сложная, автономная вселенная. Та же дилемма возникла бы перед профессором-солипсистом, который, если принудить его к объяснениям, вынужден был бы принять некую позицию относительно природы слушателей. И инквизиции пришлось бы принять позицию относительно источника закономерности в движении планет — закономерности, которую можно описать, только ссылаясь на гелиоцентрическую теорию. Все эти люди, если они станут всерьез держаться своей собственной позиции в качестве объяснения мира, придут прямым путем к реализму и рационализму Галилея.

Но идея д-ра Джонсона — это нечто большее, чем опровержение солипсизма. Она также показывает критерий реальности, используемый в науке, а именно: *если что-то может оказать от-*

¹ Джеймс Босуэлл (1740–1795) — шотландский адвокат, мемуарист и писатель, автор двухтомной «Жизни Сэмюэла Джонсона» — самой знаменитой биографической книги, написанной на английском языке. Сэмюэл Джонсон (1709–1784) — влиятельный английский литературный критик и поэт эпохи Просвещения, составитель первого толкового словаря английского языка. — *Прим. ред.*

ветное воздействие, значит, оно существует. «Ответ» в данном случае не обязательно означает, что предполагаемый объект реагирует на то, что его пнули — то есть оказали физическое воздействие, как на камень д-ра Джонсона. Достаточно того, что, когда мы «пинаем» что-то, этот объект воздействует на нас способами, которые требуют независимого объяснения. Например, у Галилея не было средств воздействия на планеты, но он мог воздействовать на свет, приходящий от них. Его эквивалентом пинания камня было преломление этого света в линзах телескопов и глазах. Этот свет отвечал, «ударяя» по сетчатке его глаз. И тот способ, которым он «ударял», позволил Галилею сделать вывод не только о реальности света, но и о том, что реально гелиоцентрическое движение планет, необходимое для объяснения характеристик приходящего света.

Кстати, д-р Джонсон тоже непосредственно не пинал камня. Человек — это разум, а не тело. Д-р Джонсон, который провел этот эксперимент, был разумом, и этот разум непосредственно воздействовал всего лишь на несколько нервов, которые передали сигнал мускулам, а они привели в движение его ногу в направлении камня. Вскоре после этого д-р Джонсон ощутил, что камень «оказал ответное воздействие», но опять лишь косвенно, после того как удар создал определенное давление в его ботинке, потом в его коже, а потом привел к появлению электрических импульсов в его нервах и т. д. Разум д-ра Джонсона, как и разум Галилея и разум любого другого человека, «воздействовал» на нервы, «получал от них ответное воздействие» и делал вывод о существовании и свойствах реальности, основываясь исключительно на этих взаимодействиях. *Какой вывод относительно реальности имел право сделать д-р Джонсон, зависит от того, какое наилучшее объяснение он мог дать произошедшему.* Например, если бы ему показалось, что ощущение зависит только от вытягивания ноги, а не от внешних факторов, то он, возможно, счел бы это свойством своей ноги или только своего разума. Возможно, он страдал от болезни, которая проявлялась в ощущении отдачи, когда бы он ни вытягивал ногу определенным образом. Но в действительности отдача зависела от того, что делал камень, например, от того находился ли он в определенном месте, что, в свою очередь, было связано с другими действи-

ями, производимыми камнем, например, с тем, что он если был видим или воздействовал на других людей, которые его пинали. Д-р Джонсон ощущал, что эти действия автономны (независимы от него) и достаточно сложны. Следовательно, объяснение реалистов, почему камень дает ощущение отдачи, включает в себя сложную историю о чем-то автономном. Но и объяснение солипсистов содержит то же самое. В действительности любое объяснение явления отскока ноги — обязательно «сложная история о чем-то автономном». В сущности, оно должно быть историей камня. Солипсист назвал бы его камнем из сна, но, не считая этого названия, истории солипсиста и реалиста имели бы один и тот же сценарий.

В главе 2 разговор о тенях и параллельных вселенных вращался вокруг вопроса о том, что существует, а что нет, и, неявно, о том, что считать доказательством существования, а что нет. Я воспользовался критерием д-ра Джонсона. Вернемся к зоне X на экране, изображенном на рис. 2.7 (стр. 56). Эта область освещена при двух открытых щелях, но становится темной, когда открывают еще две щели. Я сказал, что «неизбежен» вывод о том, что через вторую пару щелей должно проходить *что-то*, что мешает свету, проходящему через первую пару щелей, достигнуть зоны X. Это не является логически неизбежным, поскольку, если бы мы не искали объяснений, мы просто могли бы сказать, что фотоны, которые мы видим, ведут себя так, *словно* нечто, проходящее через вторую пару щелей, отклонило траекторию их движения, но на самом деле этого нечто там нет. Точно также д-р Джонсон мог сказать, что он почувствовал отскок ноги, *словно* от камня, но на самом деле там ничего не было. Инквизиция утверждала, что мы видим движение планет таким, словно и они, и Земля находятся на орбитах вокруг Солнца, но на самом деле они движутся вокруг неподвижной Земли. Но если наша цель — объяснить движение планет или движение фотонов, то мы должны сделать то же самое, что сделал д-р Джонсон. Мы должны принять методологическое правило, что если что-то ведет себя так, словно оно существует, оказывая ответное воздействие, то это следует рассматривать как доказательство его существования. Теневые фотоны оказывают воздействие, интерферируя с реальными фотонами, — значит, теньевые фотоны существуют.

Можем ли мы подобным образом сделать вывод из критерия д-ра Джонсона, что «планеты движутся так, словно их толкают ангелы, а, следовательно, ангелы существуют»? Нет, но только потому, что у нас есть объяснение лучше. Нельзя сказать, что ангельская теория движения планет *полностью* лишена достоинств. Она объясняет, почему планеты движутся независимо от небесной сферы, и это действительно поднимает ее над солипсизмом. Но она не объясняет, почему ангелы толкают планеты по данному набору орбит, а не по какому-то другому, или, в частности, почему они должны толкать планеты именно так, как будто их движение определяется кривизной пространства и времени, как описывается во всех подробностях универсальными законами общей теории относительности. Вот почему теория ангелов как объяснение не может конкурировать с теориями современной физики.

Подобным же образом постулировать, что ангелы проходят через вторую пару щелей и отклоняют наши фотоны, будет лучше, чем не сказать ничего. Но мы можем сделать еще лучше. Мы точно знаем, как эти ангелы должны вести себя: совсем как фотоны. Таким образом, у нас есть выбор между объяснением, основанным на невидимых ангелах, притворяющихся фотонами, и объяснением, основанным на невидимых фотонах. Последний вариант безусловно предпочтителен ввиду отсутствия независимого объяснения, почему ангелы должны притворяться фотонами.

Мы не чувствуем присутствия своих партнеров-двойников в других вселенных. Точно так же инквизиторы не чувствовали, что Земля под их ногами движется. И все-таки она движется! Теперь рассмотрим, что бы мы чувствовали, если бы существовали во множестве копий, взаимодействуя только через невоспринимаемо слабые эффекты квантовой интерференции. Это эквивалентно тому, что делал Галилей, когда анализировал, как бы мы почувствовали Землю, если бы она двигалась в соответствии с гелиоцентрической теорией. Он открыл, что движение было бы неощутимо. Но, возможно, слово «неощутимо» в данном случае не совсем уместно. Ни движение Земли, ни присутствие параллельных вселенных невозможно ощутить непосредственно, но нельзя ощутить и ничего другого (кроме, пожалуй, лишь своего собственного существова-

ния, если справедлив аргумент Декарта). Но и то и другое *ощутимо* в том смысле, что имеет место «ответное воздействие» на нас, если для изучения мы применяем научные инструменты. Мы видим, как маятник Фуко раскачивается в плоскости, которая, как нам кажется, постепенно поворачивается, показывая тем самым вращение Земли. Мы можем обнаружить фотоны, которые отклонились из-за интерференции со своими партнерами из другой вселенной. И то, что чувства, с которыми мы родились, не приспособлены ощущать все это «непосредственно», — всего лишь случайный результат эволюции.

Не сила ответной реакции делает неоспоримой теорию о существовании этих вещей. Важна роль, которую играет такая теория в объяснениях. Я уже приводил примеры из физики, когда едва заметная «реакция» приводила нас к грандиозным выводам относительно реальности, потому что других объяснений у нас не было. Может случиться и обратное: если среди конкурирующих объяснений нет определенного победителя, то даже очень сильный «пинок» может не убедить нас в том, что предполагаемый источник обладает независимой реальностью. Например, однажды вы можете увидеть, что на вас напали ужасные чудовища — а потом вы проснетесь. Даже если объяснение, которое они породили в вашем разуме, кажется адекватным, все равно нерационально делать вывод о существовании таких чудовищ в физическом мире. Если, идя по оживленной улице, вы почувствовали внезапную боль в плече и, оглянувшись, не обнаружили ничего, что объяснило бы эту боль, то, возможно, вам бы захотелось узнать, была ли боль вызвана подсознательной частью вашего разума, вашим телом или чем-то внешним. Вы можете *допустить*, что какой-то спрятавшийся негодяй выстрелил в вас из пневматического ружья, но не прийти к выводу о реальном существовании этого человека. Но если бы вы увидели катящуюся по тротуару дробишку от пневматического ружья, то могли бы заключить, что ни одно объяснение не решает задачу лучше, чем объяснение с пневматическим ружьем, и в таком случае вы бы приняли это объяснение. Другими словами, предварительно вы высказали бы догадку о существовании человека, которого не видели и могли не видеть никогда, из-за его роли в наилучшем (из име-

ющихся у вас) объяснении. Ясно, что теория существования такого человека не является логическим следствием результата наблюдений (в качестве которого в данном случае выступает отдельное наблюдение). Кроме того, эта теория не принимает форму «индуктивного обобщения» в том смысле, что вы получите тот же самый результат, если повторите тот же самый эксперимент. Эту теорию также нельзя проверить экспериментально: эксперимент не может доказать отсутствие спрятавшегося стрелка. Несмотря на все это, чрезвычайно убедительным доводом в пользу этой теории стало бы то, что она представляет собой наилучшее объяснение.

Каждый раз, когда я пользовался критерием д-ра Джонсона для приведения доводов в защиту реальности чего-либо, существенным всегда оказывалось одно свойство — *сложность*. Мы предпочитаем простые объяснения сложным. Кроме того, мы предпочитаем объяснения, учитывающие тонкости и сложности, объяснениям, которые охватывают лишь простые аспекты явлений. В соответствии с критерием д-ра Джонсона следует считать реальными те сложные сущности, непризнание которых реальными усложнило бы наши объяснения. Например, мы должны считать реальными планеты, потому что в противном случае мы были бы вынуждены принять сложные объяснения о космическом планетарии, об измененных законах физики, об ангелах или о чем-то еще, что, несмотря на наше предположение, создавало бы иллюзию, будто в космическом пространстве есть планеты.

Таким образом, наблюдаемая сложность структуры или поведения какой-либо сущности — это часть доказательства реальности этой сущности. Но это доказательство не является достаточным. Мы, например, не считаем свои отражения в зеркале реальными людьми. Безусловно, сами иллюзии — это реальные физические процессы. Но иллюзорные сущности, которые они нам показывают, не нужно считать реальными, потому что их сложность наследуется от чего-то другого. Их сложность не является *автономной*. Почему мы принимаем «зеркальную» теорию отражений, но отвергаем теорию Солнечной системы как планетария? Потому что, имея простое объяснение действия зеркал, мы можем понять, что ничего из того, что мы видим в них, в действительности за ними нет. В дальнейших

объяснениях нет необходимости, потому что отражения, несмотря на сложность, не являются автономными — всю свою сложность они просто позаимствовали с нашей стороны зеркала. С планетами все обстоит иначе. Теория о том, что космический планетарий реален и что за ним ничего нет, только усугубляет проблему. Если принять эту теорию, то вместо вопроса о принципе действия Солнечной системы нам сначала пришлось бы спросить о принципе действия планетария и только *потом* о принципе действия Солнечной системы, которую этот планетарий изображает. Мы не смогли бы избежать последнего вопроса, а он, по сути, повторяет тот вопрос, на который мы пытались ответить в первую очередь. Теперь мы можем переформулировать критерий д-ра Джонсона следующим образом:

Если в соответствии с простейшим объяснением какая-либо сущность является сложной и автономной, значит, эта сущность реальна.

Теория сложности вычислений — это отрасль информатики, связанная с тем, какие ресурсы (как то: время, объем памяти или энергия) необходимы для выполнения данных классов вычислений. Сложность элемента информации определяется на основе вычислительных ресурсов (длина программы, количество вычислительных этапов или объем памяти), которые понадобились бы компьютеру для воспроизведения этого элемента информации. Используют несколько различных определений сложности, каждое из которых имеет свою область применения. В данном случае нас не волнуют точные определения, но все они основаны на идее о том, что сложный процесс — это процесс, который в действительности представляет нам результаты содержательного вычисления. Планетарий хорошо иллюстрирует смысл, в котором движение планет «представляет нам результаты содержательного вычисления». Рассмотрим планетарий, которым управляет компьютер, вычисляющий точное изображение того, что его проекторы должны отобразить на ночном небе. Чтобы сделать это достоверно, компьютер должен использовать формулы, полученные в астрономических теориях; фактически это вычисление идентично тому, которое выполняется для предсказания, куда обсерватория должна направить свои телескопы, чтобы увидеть реаль-

ные планеты и звезды. Говоря, что выдаваемая планетарием картина так же «сложна», как и вид ночного неба, которое он изображает, мы имеем в виду, что оба этих вычислительных процесса, один из которых описывает ночное небо, а второй — планетарий, в основном идентичны. Таким образом, мы опять можем переформулировать критерий д-ра Джонсона в терминах гипотетических вычислений:

Если для обретения иллюзии того, что определенная сущность реальна, потребуется значительное количество вычислений, то эта сущность реальна.

Если бы нога д-ра Джонсона всякий раз, когда он ее вытягивал, испытывала бы отскок, то источнику его иллюзий (Богу, машине виртуальной реальности или чему-то еще) пришлось бы проделать всего лишь простое вычисление, чтобы определить, когда давать ему ощущение отскока (что-то вроде «если нога вытянута, то отскок...»). Но чтобы воспроизвести то, что испытал д-р Джонсон в практическом эксперименте, необходимо принять во внимание, где находится камень, попала ли по нему нога д-ра Джонсона, насколько камень тяжел, тверд и прочно ли вдавлен в землю, не отпихнул ли кто-то его с дороги еще до д-ра Джонсона и т. д. — это огромный объем вычислений.

Физики, пытающиеся цепляться за картину мира с одной вселенной, иногда пытаются объяснить явление квантовой интерференции следующим образом. «Теневых фотонов не существует, — говорят они, — а то, что переносит влияние отдаленных щелей на реальный фотон, есть ничто. Некий тип дальнего действия (как в законе тяготения Ньютона) просто заставляет фотоны изменять траекторию, когда открывают отдаленную щель». Но в этом предполагаемом действии на расстоянии нет ничего «простого». Соответствующий физический закон не может не сказать, что отдаленные объекты воздействуют на фотон в точности так, как будто что-то проходит через отдаленную щель и отскакивает от отдаленных зеркал так, чтобы перехватить этот фотон в нужное время в нужном месте. Для расчета реакции фотона на эти отдаленные объекты потребовался бы тот же объем вычислений, что и для создания истории о большом количестве теневых фотонов. Вычислению при-

шло бы пройти через всю историю поведения каждого фотона: он отскакивает от этого, его останавливает то и т. д. Следовательно, как и в случае с камнем д-ра Джонсона и с планетами Галилея, история, которая по существу является историей о теневого фотонах, с необходимостью появляется в любом объяснении наблюдаемых результатов. Неустраняемая сложность этой истории делает отрицание существования этих объектов неприемлемым с философской точки зрения.

Физик Дэвид Бом¹ создал теорию, дающую те же предсказания, что и квантовая теория, в которой некая волна сопровождает каждый фотон, переливается через всю перегородку, проходит через щели и препятствует движению видимого фотона. Теорию Бома часто представляют как вариант квантовой теории с одной вселенной. Но эта теория ошибочна в соответствии с критерием д-ра Джонсона. Для определения того, что делает невидимая волна Бома, потребуются те же вычисления, что и при расчете поведения триллионов теневого фотонов. Некоторые части волны описывают нас, наблюдателей, обнаруживающих фотоны и реагирующих на них; другие части волны описывают другие варианты нас, реагирующих на фотоны в других положениях. Скромная терминология Бома — описание большей части реальности как волны — не меняет того факта, что в его теории реальность состоит из огромного набора сложных существей, каждая из которых способна ощущать другие существности из своего набора, но существности из остальных наборов она может ощущать только косвенно. Эти наборы существностей, иными словами, и являются параллельными вселенными.

Я описал новую галилееву концепцию нашей связи с внешней реальностью как великое методологическое открытие. Оно дало нам новую надежную форму рассуждения, задействующую результаты наблюдений. В самом деле, один из аспектов его открытия со-

¹ Дэвид Джозеф Бом (1917–1992) — американский физик-теоретик, первооткрыватель рассеяния Бома. Совместно с Луи де Бройлем разработал причинную интерпретацию квантовой теории, которая, однако, не выдержала проверки экспериментом. Помимо квантовой физики занимался также философией сознания и нейропсихологией. — *Прим. ред.*

стоит в следующем: научное рассуждение надежно не в том смысле, что оно гарантирует сохранение в неизменном виде любой конкретной теории, пусть даже лишь до завтра, а в том, что мы поступаем правильно, полагаясь на него. Ибо правильнее искать решения проблем, а не источники абсолютных обоснований. Результаты наблюдений — это действительно свидетельства, но не в том смысле, что любую теорию можно вывести из них с помощью дедукции, индукции или любого другого метода, а в том смысле, что они могут служить достойной причиной предпочесть одну теорию другой.

Но у открытия Галилея есть и другая сторона, которую редко оценивают по достоинству. Надежность научного рассуждения характеризует не только *нас* — *наши* знания и *наши* взаимоотношения с реальностью. Это также и новый факт о самой физической реальности, факт, который Галилей выразил фразой: «Книга Природы написана математическими символами». Как я уже говорил, в природе невозможно в буквальном смысле «вычитать» фрагменты теории — это индуктивистская ошибка. Но там есть нечто другое, подлинное — данные, или, выражаясь более точно, реальность, которая предоставляет нам эти данные в ответ на адекватное взаимодействие с ней. Если у нас есть фрагмент теории или даже фрагменты нескольких конкурирующих теорий, то можно использовать эти данные, чтобы сделать выбор между ними. При желании любой человек может искать данные, находить их и совершенствовать теорию, если они создают трудности. Для этого не нужно ни полномочий, ни посвящения, ни священных текстов. Единственное, что нужно, — смотреть в правильном направлении, не забывая о плодотворных задачах и перспективных теориях. Эта открытая доступность не только данных, но и всего механизма обретения знания, — ключевое свойство концепции реальности Галилея.

Возможно, Галилей считал это само собой разумеющимся, но это не так. Это существенное допущение о свойствах физической реальности. Логически реальность вовсе не обязана быть дружественной к науке, но она обладает этим свойством, и оно у нее отчетливо выражено. Вселенная Галилея переполнена данными. Коперник собирал данные для своей гелиоцентрической теории в Польше, Тихо Браге — в Дании, а Кеплер — в Германии. Направив свой телескоп

в небо над Италией, Галилео расширил доступ к тем же данным. Каждый кусочек поверхности Земли каждую ясную ночь в течение миллиардов лет утопал в данных, относящихся к фактам и законам астрономии. Для множества других наук данные тоже лежали на поверхности, но рассмотреть их как следует удалось только в наше время с помощью микроскопов и других приборов. Там, где данных физически еще нет, мы можем материализовать их с помощью таких приборов, как лазеры и перегородки с отверстиями, — приборов, которые может построить каждый где угодно и в любое время. И результаты будут одни и те же, независимо от того, кто их обнаружит. Чем более фундаментальна теория, тем доступнее данные, которые на ней основаны (для тех, кто знает, как смотреть), и не только на Земле, но и во всем мультиверсе.

Таким образом, физическая реальность *самоподобна* на нескольких уровнях: при всей колоссальной сложности вселенной и мультиверса некоторые картины тем не менее бесконечно повторяются. Земля и Юпитер — во многих отношениях совсем непохожие планеты, но они движутся по эллипсам и состоят из одного и того же набора примерно из ста химических элементов (правда, в различных пропорциях). То же самое относится и к их партнерам из параллельных вселенных. Свидетельства, которые произвели столь сильное впечатление на Галилео и его современников, также существуют на других планетах и в отдаленных галактиках. Данные, которые сейчас изучают физики и астрономы, были доступны миллиард лет назад и будут доступны еще через миллиард лет. Само существование общих объяснительных теорий подразумевает, что несравнимые объекты и события некоторым образом физически схожи. Свет, попадающий к нам из отдаленных галактик, — это всего лишь свет, но нам он кажется галактиками. Таким образом, реальность содержит не только данные, но и средства ее понимания (например, наш разум и наши произведения). В физической реальности *есть* математические символы. И то, что именно мы помещаем их туда, не делает их сколько-нибудь менее физическими. В этих символах — в наших планетариях, книгах, фильмах, в памяти наших компьютеров и в нашем мозге — существуют образы физической реальности в целом, образы не только внешнего вида объектов, но и структуры

реальности. Существуют законы и объяснения, редуктивные и эмерджентные. Существуют описания и объяснения Большого взрыва и субъядерных частиц и процессов; существуют математические абстракции; художественная литература; искусство; этика; теньевые фотоны и параллельные вселенные. В той степени, в какой эти символы, образы и теории истинны — то есть сходны в определенном отношении с конкретными или абстрактными вещами, к которым они относятся, — их существование дает реальности новый вид самоподобия. Это самоподобие мы называем знанием.

Терминология

Гелиоцентрическая теория — теория о том, что Земля движется вокруг Солнца и вращается вокруг собственной оси.

Геоцентрическая теория — теория о том, что Земля покоится, а все остальные небесные тела движутся вокруг нее.

Реализм — теория о том, что внешняя физическая вселенная объективно существует и воздействует на нас через наши чувства.

Бритва Оккама (в моей формулировке) — *не усложняйте объяснения, если в этом нет необходимости*, потому что излишние усложнения сами останутся необъясненными.

Критерий д-ра Джонсона (в моей формулировке) — *если что-либо дает ответную реакцию, значит, оно существует*. Расширенный вариант: *если в соответствии с простейшим объяснением некая сущность является сложной и автономной, значит, эта сущность реальна*.

Самоподобие — некоторые части физической реальности (например, символы, картины или человеческие мысли) похожи на другие ее части. Сходство может быть конкретным, когда образы в планетарии похожи на ночное небо; но важнее то, что это сходство может быть абстрактным, когда некое положение квантовой теории, напечатанное в книге, правильно объясняет один из аспектов структуры мультиверса. (Возможно, некоторые читатели знакомы с фрактальной геометрией; понятие самоподобия, определенное здесь, гораздо шире понятия, используемого в названной области.)

Теория сложности — раздел информатики, занимающийся ресурсами (такими как время, объем памяти или энергия), которые необходимы для выполнения определенных классов вычислений.

Резюме

Несмотря на то что солипсизм и родственные ему доктрины логически самосогласованны, их можно полностью опровергнуть, если просто всерьез принять их как объяснения. Хотя все они заявляют о себе как о более простых мировоззрениях, внимательный анализ показывает, что в действительности они являются переусложненными формами реализма, которые невозможно защитить. Реальные сущности ведут себя сложным и автономным образом, что можно принять за критерий реальности: если нечто «дает реакцию», оно существует. Научное рассуждение, использующее наблюдение не как основу экстраполяции, но чтобы провести различие между равноценными в других отношениях объяснениями, может дать нам истинное знание о реальности.

Таким образом, особое свойство самоподобия физического мира делает возможной науку и другие формы знания. Однако впервые это свойство признали и изучили вовсе не физики, а математики и теоретики в области вычислительных процессов. Они назвали это свойство универсальностью вычислений. Теория вычислений — наша третья нить.

Виртуальная реальность

По традиции теорию вычислений изучают почти исключительно абстрактно, как раздел чистой математики. Однако при этом теряется ее смысл. Компьютеры являются физическими объектами, а вычисления — физическими процессами. То, что могут или не могут вычислить компьютеры, определяется только законами физики, а не чистой математикой. Одной из важнейших концепций теории вычислений является *универсальность*. *Универсальный компьютер* обычно определяют как абстрактную машину, способную имитировать вычисления любой другой абстрактной машины некоторого конкретного хорошо определенного класса. Однако важность универсальности заключается в том, что универсальные компьютеры, или, по крайней мере, хорошие приближения к ним, можно на самом деле построить и использовать для вычисления поведения не только друг друга, но и интересных физических и абстрактных сущностей. Тот факт, что это возможно, — часть самоподобия физической реальности, о которой я упомянул в предыдущей главе.

Самое известное физическое проявление универсальности — это область техники, которая обсуждалась в течение многих десятилетий, но начинает развиваться только сейчас, — *виртуальная реальность*. Этот термин относится к любой ситуации, когда у человека искусственно создается ощущение пребывания в определенной среде. Например, пилотажный тренажер — машина, которая дает летчику ощущение полета на самолете без отрыва от земли, — это один из видов генератора виртуальной реальности. Такую машину (или точнее, компьютер, который ею управляет) можно запрограм-

мировать, вводя характеристики реального или вымышленного самолета. В программе также можно задать окружающую самолет среду, как то: погоду и схему расположения аэропортов. По мере того, как пилот отрабатывает перелет из одного аэропорта в другой, тренажер выдает определенные изображения в окна, имитирует возникающие при полете толчки и ускорения, соответствующие показания приборов и т. д. Он может воспроизводить такие эффекты, как турбулентность, механическое повреждение и предлагаемые модификации самолета. Таким образом, пилотажный тренажер знакомит пользователя с широким спектром пилотажных ситуаций, включая такие, которые невозможно воспроизвести на реальном самолете. Имитируемый самолет может обладать техническими характеристиками, нарушающими законы физики (например, он может лететь сквозь горы, быстрее света или без горючего).

Поскольку мы воспринимаем окружающую нас среду через наши ощущения, любой генератор виртуальной реальности должен обладать способностью манипулировать нашими чувствами, изменяя или подавляя их нормальное функционирование, чтобы мы могли почувствовать заданную окружающую среду вместо реальной. Это может напомнить фантастику в духе романа Олдоса Хаксли¹ «О дивный новый мир», но технологии искусственного управления человеческой сенсорикой, конечно, развивались тысячелетиями. Все методики предметно-изобразительного искусства и дальнейшей связи можно считать «изменяющими нормальное функционирование чувств». Даже доисторические пещерные рисунки давали зрителю некоторое ощущение того, что он видит животных, которых на самом деле нет. Сегодня мы можем осуществить это более точно, используя фильмы и звукозапись, хотя и не настолько точно, чтобы имитацию можно было перепутать с оригиналом.

Я буду использовать термин *генератор образов* для обозначения любого приспособления, вроде планетария, аудиосистемы Hi-Fi или полочки со специями, способного по заказу формировать

¹ Олдос Леонард Хаксли (1894–1963) — британский писатель, гуманист и пацифист. Интересовался парапсихологией и мистикой. Автор нескольких романов, из которых наиболее известна антиутопия «О дивный новый мир» (Brave New World, 1932). — *Прим. ред.*

сенсорный ввод для пользователя: заданные картинки, звуки, запахи и т. п. — все это будем считать «образами». Например, чтобы сгенерировать обонятельный образ (т. е. запах) ванили, нужно открыть баночку с ванилью, которая стоит на полочке со специями. Чтобы генерировать слуховой образ (т. е. звук) двадцатого концерта для фортепьяно Моцарта, нужно воспроизвести соответствующий компакт-диск на аудиосистеме Hi-Fi. Любой генератор образов — это рудиментарный вид генератора виртуальной реальности, но термин «виртуальная реальность» обычно оставляют на тот случай, когда присутствуют и широкий охват сенсорного диапазона пользователя, и существенный элемент взаимодействия («ответной реакции») между пользователем и имитируемыми сущностями.

Современные видеоигры обеспечивают взаимодействие между игроком и игровыми объектами, но, как правило, используют лишь небольшую часть сенсорного диапазона пользователя. Такая воссозданная «окружающая среда» состоит из изображений на небольшом экране и частично звуков, которые слышит пользователь. Однако уже существуют виртуальные видеоигры, более достойные этого названия. Обычно пользователь надевает шлем со встроенными наушниками и двумя телевизионными экранами (по одному для каждого глаза), иногда — специальные перчатки и другую одежду, оснащенную электрически управляемыми эффекторами (устройствами, создающими давление). Имеются также сенсорные датчики, которые регистрируют движение частей тела пользователя, особенно головы. Информация о том, что делает пользователь, передается компьютеру, который вычисляет, что должен видеть, слышать и чувствовать пользователь, и реагирует, посылая соответствующие сигналы генераторам образов (рис. 5.1). Когда пользователь смотрит налево или направо, изображения на двух телевизионных экранах смещаются, подобно реальному полю зрения, и показывают, что находится слева и справа от него в виртуальном мире. Пользователь может протянуть руку и взять виртуальный объект, который будет на ощупь как настоящий, потому что эффекторы перчатки генерируют «тактильную обратную связь», соответствующую положению и ориентации, с которыми виден объект.

В настоящее время игры и имитация средств передвижения — основные области применения виртуальной реальности, но в скором будущем предвидится огромное количество новых ее приложений. Для архитекторов станет обычным делом создавать виртуальные прототипы зданий, по которым клиенты смогут пройтись и попробовать внести изменения на той стадии, когда их можно будет реализовать без особых усилий. Покупатели смогут пройти (или даже пролететь) по виртуальным супермаркетам, не выходя из дома, даже не встречаясь с толпой других покупателей и не слушая музыку, которая им не нравится. Но совсем не обязательно, что они останутся в виртуальном супермаркете в одиночестве: в виртуальной реальности за покупками могут пойти вместе сколько угодно человек, у каждого будут как изображения остальных, так и изображение супермаркета, но никому из них не придется выходить из дома. Концерты и конференции будут проводить без назначения места встречи; и выгода здесь не только в экономии на стоимости аудиторий, гостиниц и перелетов, но и в том, что все участники смогут сидеть на самом лучшем месте одновременно.

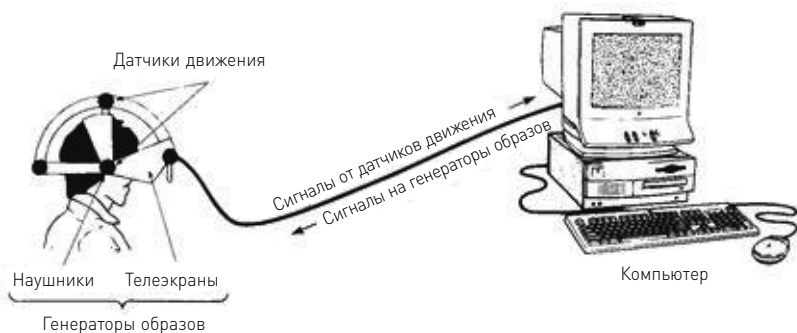


Рис. 5.1. Виртуальная реальность в современном исполнении

Если бы епископ Беркли или инквизиторы знали о виртуальной реальности, они, возможно, ухватились бы за нее как за совершенную иллюстрацию обманчивости чувств, подтверждающую их аргументы против научного рассуждения. Что произошло бы, если бы «летчик» пилотажного тренажера попытался использовать

тест на реальность д-ра Джонсона? Несмотря на то, что виртуальный самолет и окружающая его среда в действительности не существуют, они «дают ответную реакцию» летчику, как если бы они существовали. Летчик может дать газу и услышать ответный рев двигателей, почувствовать их тягу через сиденье, увидеть в окно, как они вибрируют и выбрасывают горячий газ, несмотря на то что в действительности их не существует. Летчик может ощутить полет самолета во время шторма, слышать гром и видеть дождь, бьющий по ветровому стеклу, хотя в реальности и этого тоже нет. В реальности снаружи кабины находится только компьютер, несколько гидравлических приводов, телевизионные экраны, громкоговорители и совершенно сухое неподвижное помещение.

Делает ли это опровержение солипсизма д-ром Джонсоном несостоятельным? Нет. Его разговор с Босуэллом мог произойти с тем же успехом и в пилотажном тренажере. «Я опровергаю это *вот так*», — мог сказать он, давя газ и чувствуя ответную реакцию виртуального двигателя. Но там нет двигателя, а ответную реакцию дает компьютер, обрабатывающий программу, которая вычисляет, что сделал бы двигатель, если бы на него «оказали воздействие». Но эти расчеты, внешние для разума д-ра Джонсона, реагируют на рычаг газа так же сложно и автономно, как это сделал бы двигатель. Следовательно, они выдерживают проверку на реальность, и это справедливо, потому что в действительности эти вычисления — физические процессы внутри компьютера, а компьютер — обычный физический объект (не менее физический, чем двигатель), и объект совершенно реальный. Тот факт, что это не реальный *двигатель*, не имеет никакого отношения к аргументу против солипсизма. Не все реальное должно легко поддаваться распознаванию. Даже если бы то, что показалось камнем, впоследствии оказалось бы животным, замаскировавшимся под камень, или голографической проекцией, скрывающей садового гномика, это не имело бы особого значения в первоначальной демонстрации д-ра Джонсона. Поскольку реакция была сложной и автономной, постольку Джонсон мог бы совершенно оправданно сделать вывод, что эта реакция была вызвана чем-то реальным, находящимся вне его самого, и, следовательно, реальность состоит не только из него.

Тем не менее осуществимость виртуальной реальности может показаться неудобным фактом для тех, чье мировоззрение основано на науке. Только подумайте, что такое генератор виртуальной реальности с точки зрения физики. Конечно, это физический объект, который подчиняется тем же законам физики, что и все остальные объекты. Но он может «притворяться» чем-то иным! Он может изображать из себя совершенно другой объект, который подчиняется ложным законам физики. Более того, он может имитировать такой объект сложным и автономным образом. Когда пользователь воздействует на него, чтобы проверить реальность того, чем он притворяется, он оказывает ответную реакцию, как если бы он был другим, несуществующим объектом и как если бы ложные законы были истинными. Если бы мы изучали физику только на основе таких объектов, мы вывели бы ошибочные законы. (Или нет? Удивительно, но все не так просто. Я вернусь к этому вопросу в следующей главе, но прежде мы должны более подробно рассмотреть феномен виртуальной реальности.)

На первый взгляд, епископ Беркли мог бы принять ту позицию, что виртуальная реальность — это символ грубости человеческих способностей, что ее возможность должна предупредить нас о присущих человеческим созданиям ограничениях в способности понимать физический мир. Может показаться, что картина, создаваемая виртуальной реальностью, относится к той же философской категории, что и иллюзии, ложные следы и совпадения, поскольку все эти явления также вроде бы показывают нам нечто реальное, но на самом деле вводят нас в заблуждение. Мы уже видели, что научное мировоззрение может принять (а в действительности и предполагает) существование явлений, в высшей степени вводящих в заблуждение. Это мировоззрение *par excellence*¹, способное принять и свойственную человеку способность ошибаться, и внешние источники ошибок. Тем не менее явления, вводящие в заблуждение, как правило, не приветствуются. Помимо того, что они любопытны, и того, что из них мы узнаем, как впадаем в заблуждение, мы стараемся избегать таких явлений и предпочли бы,

¹ В полном смысле слова (фр.). — Прим. ред.

чтобы их вовсе не было. Но виртуальная реальность не относится к этой категории. Мы увидим, что ее существование показывает не то, что человеческая способность понимания мира по своей природе ограничена, а наоборот, что она в сущности безгранична. Это не аномалия, привнесенная случайными свойствами человеческих органов чувств, а фундаментальное свойство мультиверса в целом. И тот факт, что мультиверс обладает этим свойством, вовсе не затруднение для реализма или науки, но, напротив, необходимость для них обоих. Именно это свойство делает науку возможной. Это не что-то такое, «без чего мы предпочли бы обойтись»; это нечто, без чего мы буквально не можем обойтись.

Такие заявления могут показаться слишком претенциозными, особенно если учесть, что их делают, основываясь на пилотажных тренажерах и видеоиграх. Но в общей схеме вещей центральное место занимает сам феномен виртуальной реальности, а не какой-то конкретный ее генератор. Поэтому я хочу рассмотреть виртуальную реальность в максимально общем виде. Каковы ее крайние пределы, если таковые имеются? Какую окружающую среду в принципе можно искусственно получить и с какой точностью? Говоря «в принципе», я имею в виду — игнорируя преходящие технические ограничения, но принимая во внимание все ограничения, которые могут быть наложены принципами логики и физики.

По моему определению, генератор виртуальной реальности — это машина, которая дает пользователю ощущение какой-то реальной или вымышленной среды (например, самолета) и которая находится (или кажется, что находится) вне разума пользователя. Я буду называть это *внешним опытом*. Внешние впечатления должны противопоставляться *внутреннему опыту* — таким впечатлениям, как нервность при первой самостоятельной посадке или удивление при внезапном появлении грозы среди ясного голубого неба. Генератор виртуальной реальности косвенным образом вызывает у пользователя и внутренние впечатления, а не только внешние, но его невозможно запрограммировать так, чтобы он обеспечивал вполне определенный внутренний опыт. Например, летчик, который совершает примерно один и тот же полет на тренажере дважды, получит в обоих случаях примерно один и тот же внешний

опыт, но во второй раз он, возможно, меньше удивится появлению грозы. Конечно, во второй раз летчик может также по-другому отреагировать на появление грозы, что, в свою очередь, изменит следующие внешние впечатления. Но дело в том, что, хотя и можно запрограммировать машину на появление грозы в поле зрения летчика в любой желаемый момент, невозможно запрограммировать ее так, чтобы вызвать желаемую ответную реакцию летчика.

Можно представить себе технологию уже за пределами виртуальной реальности, которая вызывала бы еще и строго определенный *внутренний* опыт. Некоторые внутренние впечатления, например, настроения, вызванные определенными наркотиками, уже можно получить искусственно, и в будущем этот диапазон, несомненно, расширится. Но генератору точно задаваемых внутренних впечатлений в общем случае понадобилась бы способность перехватывать нормальное функционирование как разума, так и чувств пользователя. Другими словами, он заменял бы пользователя другой личностью. Это свойство помещает такие машины в категорию, отличную от категории генераторов виртуальной реальности. Для них потребуется совсем другая технология, они поднимут совсем другие философские вопросы, поэтому я исключил их из своего определения виртуальной реальности.

Еще один вид опыта, который, несомненно, нельзя передать искусственно, — это *логически невозможный* опыт. Я говорил, что пилотажный тренажер может создать впечатление физически неосуществимого полета сквозь гору. Но ничто не сможет создать впечатление разложения на множители числа 181, потому что это логически невозможно: 181 — это простое число. (*Поверить*, что кто-то разложил число 181 на множители, — логически возможное впечатление, но оно внутреннее, а потому не входит в сферу виртуальной реальности.) Другой логически невозможный опыт — бессознательность, поскольку, когда человек находится в бессознательном состоянии, он по определению ничего не испытывает. Состояние, когда человек ничего не испытывает, отличается от состояния, когда человек испытывает полное отсутствие впечатлений, — это называется сенсорной изоляцией, которая, безусловно, является физически возможной средой.

После исключения логически невозможных и внутренних впечатлений у нас остался обширный класс *логически возможных внешних впечатлений* — впечатлений от внешней среды, получение которых логически возможно, но физически не всегда осуществимо (табл. 5.1). Нечто является физически возможным, если оно не запрещено законами физики. В этой книге я буду считать, что «законы физики» включают одно еще неизвестное правило, определяющее начальное состояние или другие дополнительные данные, необходимые в принципе для того, чтобы дать полное описание мультиверса (иначе эти данные были бы набором принципиально необъяснимых фактов). В таком случае некая среда физически возможна тогда и только тогда, когда она действительно существует где-то в мультиверсе (т. е. в какой-то вселенной или нескольких вселенных). Нечто является физически невозможным, если этого не происходит нигде в мультиверсе.

Я определяю *репертуар* генератора виртуальной реальности как набор реальных или вымышленных сред, ощущение присутствия в которых генератор может создавать у пользователя. Мой вопрос о крайних пределах виртуальной реальности можно сформулировать следующим образом: какие ограничения, если таковые имеются, накладывают на репертуар генераторов виртуальной реальности законы физики?

Виртуальная реальность всегда включает создание искусственных ощущений — генерацию образов, — с них-то мы и начнем. Какие ограничения накладывают законы физики на способность генераторов образов создавать искусственные образы, передавать детали и охватывать соответствующие сенсорные диапазоны? Существуют очевидные способы улучшения передачи деталей по сравнению с современным пилотажным тренажером, например, применение телевидения высокой четкости. Но возможно ли, хотя бы в принципе, воспроизвести реалистичный самолет и его среду с предельной степенью детализации, т. е. с максимальными подробностями, которые чувства летчика могут распознать? Для слуха этот наивысший предел был почти достигнут в системах Hi-Fi, а что касается зрения, то этот предел достигим. А как с другими чувствами? Очевидно ли, что физически возможно построить универсальную

химическую установку, которая сможет в одно мгновение воспроизводить по команде любую точно определенную комбинацию миллионов различных душистых химикатов? Или создать машину, которая, будучи помещена в рот гурмана, передаст вкус и консистенцию любого возможного блюда, не говоря уже о создании чувств голода и жажды, предшествующих приему пищи, и последующего физического удовлетворения? (Голод, жажда и другие ощущения, например, чувство равновесия или напряжение мускулов, воспринимаются как внутренние по отношению к телу, но они являются наружными по отношению к разуму и потому потенциально относятся к сфере виртуальной реальности.)

Таблица 5.1. Классификация впечатлений с примерами.
Виртуальная реальность связана с получением логически возможных внешних впечатлений (верхняя левая часть таблицы)

		Логически возможные впечатления		Логически невозможные впечатления
		Физически возможная среда	Физически невозможная среда	
Внешние впечатления	Внешние впечатления	Например, пилотирование самолета	Например, полет быстрее скорости света	Например, разложение простого числа на сомножители
	Внутренние впечатления	Например, гордость своими пилотскими качествами	Например, восприятие цветов вне видимого диапазона	Например, бессознательное состояние

Сложность при создании таких машин может заключаться просто в технологии, но не всегда. Предположим, что летчик пилотажного тренажера направляет виртуальный самолет вертикально вверх на высокой скорости, а затем выключает двигатели. Самолет должен продолжать подниматься до тех пор, пока его восходящий импульс не будет исчерпан, а потом он начнет с возрастающей скоростью падать. Все движение в целом называется *свободным падением*, несмотря на то что первоначально самолет двигается вверх, потому что движение происходит только под влиянием тяготения. Когда самолет находится в состоянии свободного падения, его оби-

татели невесомы и могут плавать по кабине, как космонавты на орбите. Вес восстанавливается только тогда, когда к самолету снова прикладывается направленная вверх сила, что вскоре должно произойти под действием аэродинамики или от встречи с не прощающей ошибок Землей. (На практике состояния свободного падения обычно достигают при полете самолета под тягой, но по той же параболической траектории, по которой он летел бы при отсутствии и тяги двигателя, и сопротивления воздуха.)

Свободно падающие самолеты используют для тренировки космонавтов в условиях невесомости перед полетом в космос. Настоящий самолет может находиться в состоянии свободного падения пару минут или даже больше, потому что он располагает несколькими километрами высоты, в пределах которых может подниматься и падать. Но наземный пилотажный тренажер может находиться в состоянии свободного падения лишь мгновение, если его опоры сначала максимально раздвигаются, а потом позволяют ему упасть. Пилотажные тренажеры (по крайней мере, современные) не позволяют тренироваться в условиях невесомости: для этого необходим реальный самолет.

Можно ли исправить этот недостаток пилотажных тренажеров, наделив их возможностью имитировать свободное падение на Земле (и в этом случае их можно было бы использовать и в качестве тренажеров *космических* полетов)? Это не так просто, поскольку на пути встают законы физики. Известная физика даже в принципе не дает другого способа устранения веса тела, кроме свободного падения. Единственный способ поместить пилотажный тренажер в состояние свободного падения, когда он одновременно остается неподвижным на поверхности Земли, — это каким-то образом подвесить над ним массивное тело, например, другую планету такой же массы или черную дыру. Но даже если бы это было возможно (не забываяте, что нас занимает не немедленный практический интерес, а вопрос о том, что позволяют или не позволяют законы физики), реальный самолет также способен осуществлять частые, сложные изменения в величине и направлении веса находящихся в нем людей путем маневрирования и включения и выключения двигателей. Для имитации этих изменений наше массив-

ное тело пришлось бы перемещать почти с такой же частотой, и, по-видимому, скорость света (если не что-то другое) наложила бы абсолютный предел на скорость этих перемещений.

Однако, чтобы имитировать свободное падение, пилотажный тренажер не должен создавать настоящую невесомость, но лишь ощущение невесомости, и используются различные методы, не включающие свободное падение, чтобы приблизиться к этому состоянию. Например, космонавты тренируются под водой в космических скафандрах, вес которых подобран так, чтобы их плавучесть равнялась нулю. Другой метод заключается в использовании специальной подвески, в которой космонавт парит в воздушном потоке под управлением компьютера для имитации невесомости. Но все это весьма грубые методы, и ощущения, которые они обеспечивают, вряд ли можно спутать с реальными, не говоря уже о том, чтобы не почувствовать различий. Тело человека обязательно должны поддерживать силы, воздействующие на кожу, которых он не может не чувствовать. Точно так же совсем не воспроизводится характерное ощущение падения, испытываемое через органы чувств внутреннего уха. Можно представить дальнейшие усовершенствования: использование несущих жидкостей с очень низкой вязкостью и лекарств, создающих ощущение падения. Но возможно ли вообще передать ощущение свободного падения безупречным образом в пилотажном тренажере, который прочно стоит на земле? Если нет, то мы нашли абсолютный предел достоверности искусственной передачи впечатлений полета. Чтобы отличить реальный самолет от имитации, летчику достаточно направить его по траектории свободного падения и посмотреть, появится состояние невесомости или нет.

В общей формулировке задача заключается в следующем. Для того чтобы подменить нормальное функционирование органов чувств, мы должны посылать им образы, похожие на те, которые произвела бы имитируемая среда. Мы также должны перехватывать и подавлять образы, произведенные реальной средой, окружающей пользователя. Но такие манипуляции с образами представляют собой физические операции, которые можно осуществить только при помощи процессов, имеющих в реальном физическом мире.

Свет и звук можно довольно просто физически поглотить и заметить. Но как я уже сказал, это не относится к тяготению: законы физики этого не позволяют. Пример с невесомостью как будто наводит на мысль о том, что точная имитация невесомости с помощью машины, которая в действительности неподвижна, может нарушить законы физики.

Но это не так! Невесомость и все другие ощущения в принципе можно создать искусственно. Ведь в конечном итоге станет возможным обойти все органы чувств и оказать непосредственное воздействие на нервы, связывающие их с мозгом.

Таким образом, нам не нужны будут универсальные химические генераторы или невозможные машины искусственной гравитации. Как только мы поймем органы обоняния настолько, чтобы расшифровать код сигналов, которые они посылают в мозг при обнаружении запахов, компьютер, должным образом подсоединенный к соответствующим нервам, сможет посылать в мозг те же самые сигналы. Тогда мозг сможет ощутить запахи, хотя соответствующих химических соединений не будет существовать. Точно так же мозг сможет испытать настоящее ощущение невесомости даже при нормальном тяготении. И, конечно, не нужны будут ни телевизоры, ни наушники.

Таким образом, законы физики не накладывают ограничений на диапазон и точность генераторов образов. Не существует такого ощущения или ряда ощущений, которые могут испытывать люди, но которые в принципе невозможно было бы воспроизвести искусственно. Когда-нибудь в качестве обобщения всех фильмов появится то, что Олдос Хаксли в романе «О дивный новый мир» называл «фили» (feelie) — фильмы для всех чувств¹. Можно будет почувствовать покачивание лодки под ногами, услышать шорох волн, ощутить запах моря, увидеть, как меняется цвет заката на горизонте, почувствовать, как ветерок перебирает ваши волосы (неважно, есть они у вас

¹ Английское слово *feelie* произведено от глагола *feel* (чувствовать) по той же модели, по которой слово *movie* (кино) произведено от глагола *move* (двигаться). В русском переводе О. Сороки такого слова нет — произведения синтетического искусства все же остаются фильмами, но место для их восприятия называется «ощущалкой». — *Прим. ред.*

или нет), — и все это не покидая твердой суши и не выходя из дома. И это еще не все: фили также легко смогут изобразить сцены, которые никогда не существовали и не могли существовать. Или они смогут сыграть нечто, подобное музыке: прекрасные абстрактные сочетания ощущений, предназначенные для улады чувств.

То, что каждое возможное ощущение можно вызвать искусственно, — это одно; а то, что когда-нибудь станет возможным раз и навсегда создать отдельную машину, способную порождать любые возможные ощущения, — это уже нечто большее: это универсальность. Фили-машина, обладающая такой возможностью, стала бы *универсальным генератором образов*.

Возможность существования такого генератора вынуждает нас изменить взгляды на вопрос, касающийся крайних пределов фили-технологии. В настоящее время прогресс такой технологии заключается в изобретении все более разнообразных и точных способов стимуляции органов чувств. Но этот класс проблем исчезнет, как только мы расшифруем коды, используемые нашими органами чувств, и разработаем достаточно тонкий метод стимуляции нервов. Как только мы научимся искусственно генерировать сигналы нервов настолько точно, чтобы мозг не мог уловить разницу между искусственными сигналами и теми, которые послали бы наши органы чувств, в повышении точности метода не будет необходимости. К этому времени технология достигнет зрелости, и следующая задача будет состоять не в том, как создать определенные ощущения, а в том, какие ощущения создавать. В ограниченной области это происходит уже сегодня, ведь задача получения максимально возможной точности воспроизведения звука уже близка к тому, чтобы быть решенной с помощью компакт-дисков и современного поколения звуковоспроизводящего оборудования. Скоро уже не станет такого понятия, как любитель Hi-Fi. Любителей воспроизведения звука больше будет заботить не точность воспроизведения (оно и так всегда будет точным вплоть до предела человеческого распознавания), а то, какие звуки должны быть записаны.

Если генератор образов воспроизводит запись, взятую из жизни, ее *точность* можно определить как близость создаваемых образов

к тем, которые человек получил бы в реальной ситуации. В более общем случае, если генератор создает искусственно разработанные образы, например, мультфильм или музыку, играемую с нот, точность — это близость передаваемых образов к тем, которые предполагались. Тут мы подразумеваем близость, воспринимаемую пользователем. Если созданный образ настолько близок к задуманному, что пользователь не может отличить одно от другого, то мы можем назвать его *совершенно точным*. (Так что образы, точные для одного пользователя, могут содержать неточности, которые ощутит другой пользователь с более острыми или с дополнительными органами чувств.)

Универсальный генератор образов, конечно, не содержит записи всех возможных образов. Универсальным его делает следующее: при наличии записи любого возможного образа он может вызвать у пользователя соответствующие ощущения. В универсальном генераторе слуховых ощущений — системе Hi-Fi предельного уровня — запись можно представить в виде компакт-диска. Чтобы вместить слуховые ощущения, которые длятся дольше, чем это позволяет емкость диска, мы должны включить механизм, способный последовательно загружать в машину любое количество дисков. Это же условие остается в силе для всех остальных универсальных генераторов образов, так как, строго говоря, генератор образов не является универсальным, пока в нем нет механизма воспроизведения записей неограниченной продолжительности. Более того, когда машина работает в течение долгого времени, ей понадобится уход, иначе генерируемые ею образы будут становиться хуже или вовсе исчезнут. Эти и подобные им соображения связаны с тем, что взять отдельный физический объект изолированно от остальной вселенной — это всегда аппроксимация. Универсальный генератор образов универсален только в определенном внешнем контексте, в котором подразумевается, что его обеспечивают такими вещами, как подвод энергии, механизм охлаждения и периодическое обслуживание. Наличие таких внешних потребностей не запрещает считать его «отдельной универсальной машиной» при условии, что законы физики не запрещают удовлетворение этих нужд и для этого не нужно изменять конструкцию машины.

Как я уже сказал, формирование образов — всего лишь одна составляющая виртуальной реальности: существует еще и крайне важный интерактивный элемент. Генератор виртуальной реальности можно рассматривать как генератор образов, для которого эти образы не заданы полностью в самом начале, а частично зависят от действий пользователя. Такой генератор не проигрывает пользователю заранее определенную последовательность образов, как это произошло бы при просмотре фильма или фиди. Он порождает эти образы на ходу, принимая во внимание непрерывный поток информации о действиях пользователя. Современные генераторы виртуальной реальности, например, следят за положением головы пользователя, используя сенсоры движения, как показано на рис. 5.1. В конечном итоге им придется следить за всеми действиями пользователя, которые могут повлиять на субъективный вид имитируемой среды. Эта среда может включать и собственное тело пользователя: поскольку тело является внешним по отношению к разуму, то описание среды виртуальной реальности может потребовать, чтобы тело пользователя казалось замещенным новым телом с определенными свойствами.

Человеческий разум воздействует на тело и на внешний мир, генерируя нервные импульсы. Следовательно, генератор виртуальной реальности, в принципе, может получать всю необходимую информацию о действиях пользователя путем перехвата нервных сигналов, исходящих из мозга пользователя. Эти сигналы, вместо того чтобы попасть в тело пользователя, могут быть переданы компьютеру и расшифрованы, чтобы точно определить, как двигалось бы тело пользователя. Сигналы, которые компьютер отправляет обратно в мозг, могут быть такими же, какие послало бы тело, если бы оно находилось в указанной среде. Если задание этого требует, виртуальное тело могло бы реагировать отлично от реального, например, оно смогло бы выжить в виртуальной среде, которая убила бы реальное человеческое тело, или имитировать отказы и повреждения реального тела.

Я должен признать, что говорить о взаимодействии человеческого разума с внешним миром *только* через испускание и получение нервных импульсов было бы, пожалуй, слишком большой

идеализацией. В обоих направлениях проходят и химические сообщения. Я предполагаю, что, в принципе, эти сообщения тоже можно перехватить и подменить в некоторой точке между мозгом и остальным телом. Таким образом, пользователь будет лежать неподвижно, подсоединенный к компьютеру, но у него возникнет ощущение полного взаимодействия с виртуальным миром — по существу, реальной жизни в этом мире. На рис. 5.2 проиллюстрированы эти мои идеи. Кстати, несмотря на то, что такая технология — дело будущего, идея о ней гораздо старше самой теории вычислений. В начале XVII века Декарт уже рассматривал философские следствия манипулирования чувствами со стороны «демона», который, по сути, был генератором виртуальной реальности, подобным показанному на рис. 5.2, но только компьютер заменялся сверхъестественным разумом.

Из предшествующей дискуссии ясно, что любой генератор виртуальной реальности должен иметь по крайней мере три главные составляющие:

- набор сенсоров (которыми могут быть детекторы нервных импульсов), чтобы узнать о действиях пользователя;
- набор генераторов образов (в роли которых могут выступить приборы стимуляции нервов);
- управляющий компьютер.

До сих пор мое внимание концентрировалось на первых двух составляющих: сенсорах и генераторах образов. Дело в том, что исследования в области виртуальной реальности при современном примитивном состоянии технологии все еще главным образом сводятся к формированию образов. Но заглянув за временные технологические ограничения, мы увидим, что генераторы образов просто-напросто обеспечивают интерфейс — «соединительный кабель» — между пользователем и настоящим генератором виртуальной реальности, которым является компьютер. Необходимая виртуальная среда полностью создается внутри компьютера. Именно он обеспечивает сложную и независимую «ответную реакцию», которая и оправдывает использование слова «реальность» в вы-

ражении «виртуальная реальность». Соединительный кабель ничего не вносит в среду, воспринимаемую пользователем, — с точки зрения пользователя он «прозрачен» в той же степени, в какой мы обычно не считаем свои собственные нервы частью окружающей нас среды. Таким образом, будущие генераторы виртуальной реальности лучше всего описать как имеющие только один главный компонент — компьютер с несколькими обычными периферийными устройствами.

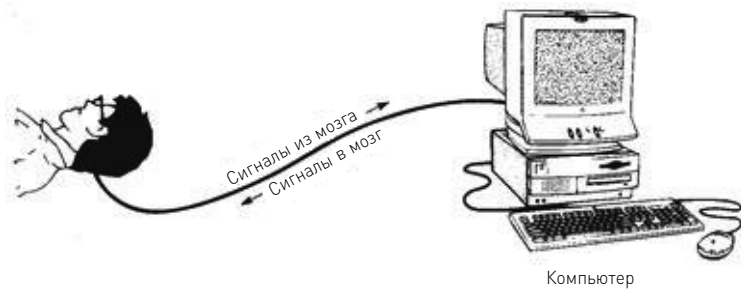


Рис. 5.2. Вариант возможной будущей реализации виртуальной реальности

Я не хочу недооценивать практические проблемы, связанные с перехватом всех нервных сигналов, поступающих в человеческий мозг и исходящих из него, и расшифровкой связанных с этим кодов. Но это конечный набор проблем, которые нам придется решить только однажды. После этого основное внимание в области технологии виртуальной реальности раз и навсегда будет перенесено на компьютер, на задачу его программирования для создания различных сред. Какие среды мы сможем создавать, будет зависеть уже не от того, какие сенсоры и генераторы образов мы сможем построить, а от того, какие среды мы сможем задать. «Задание» среды будет означать наличие программы для компьютера, являющегося сердцем генератора виртуальной реальности.

Из-за интерактивной природы виртуальной реальности понятие точности для нее не столь просто, как для формирования образов. Как я уже сказал, точность генератора образов — это мера близости созданных образов к тем, которые предполагалось соз-

дать. Но в случае виртуальной реальности обычно нет конкретных желаемых образов: нужно, чтобы пользователь испытал ощущение нахождения в определенной среде. Задание среды виртуальной реальности означает не указание того, что должен испытывать пользователь, а скорее определение того, как среда должна отреагировать на каждое возможное действие пользователя. Например, при виртуальной игре в теннис можно заранее определить внешний вид корта, погоду, поведение публики и уровень игры противника. Но ход игры не должен быть задан: он зависит от множества решений, принимаемых пользователем во время игры. Разные наборы решений приводят к разным реакциям виртуальной среды и, следовательно, к разным вариантам развития игры.

Число возможных вариантов игры в одной окружающей среде, т. е. в среде, созданной одной программой, огромно. Рассмотрим имитацию центрального корта Уимблдона с точки зрения игрока. Сделаем очень консервативное предложение о том, что в каждую секунду игры игрок может двигаться одним из двух различных (по ощущениям игрока) способов. Тогда через две секунды количество возможных вариантов игры станет равным четырем, через три секунды — восьми и т. д. Примерно через четыре минуты количество возможных вариантов игры, заметно отличающихся друг от друга, превысит количество атомов во вселенной и продолжит экспоненциально расти. Чтобы программа точно сгенерировала одну такую среду, она должна иметь возможность реагировать любым из несметного количества ощутимо различных способов в зависимости от того, какое поведение выберет пользователь. Если две программы одинаково реагируют на каждое возможное действие пользователя, значит, они создают одну и ту же среду; если же их реакции даже на одно возможное действие заметно отличаются друг от друга, значит, они генерируют различные среды.

Это замечание остается в силе, даже если пользователь никогда не произведет то действие, которое выявит разницу. Окружающая среда, создаваемая программой (для данного вида пользователей, с данным соединительным кабелем), — это логическое свойство программы, которое не зависит от того, выполнялась ли когда-нибудь эта программа. Создаваемая среда точна настолько, насколько

она способна отреагировать предписанным образом на каждое возможное действие пользователя. Таким образом, ее точность зависит не только от ощущений, действительно возникающих у пользователей, но и от ощущений, которые у них не возникают, но возникли бы, поведи они себя иначе во время моделирования. Возможно, это звучит парадоксально, но, как я уже сказал, это прямое следствие того, что виртуальная реальность, как и сама реальность, интерактивна.

Этот факт обозначает важное различие между генерацией образов и формированием виртуальной реальности. Пользователь в принципе может почувствовать, измерить и удостоверить точность создания образов генератором, но это не так в отношении точности создания виртуальной реальности. Например, если вы любите музыку и достаточно хорошо знаете определенное музыкальное произведение, то можете послушать его исполнение и подтвердить, что образ в принципе был совершенно точным, вплоть до последней ноты, фразировки, динамики и т. п. Но если вы фанат тенниса, в совершенстве знающий центральный корт Уимблдона, вы все равно не сможете подтвердить абсолютную точность его воспроизведения. Даже при наличии возможности исследовать виртуальный центральный корт сколь угодно долго, «воздействуя» на него всевозможными способами, и даже если есть равный доступ на реальный центральный корт для сравнения, вы никогда не сможете дать заключение, что программа действительно воссоздала реальный объект. Невозможно знать, что произошло бы, если бы вы исследовали его чуть дольше или оглянулись в подходящий момент. Возможно, если бы вы сели в виртуальное кресло судьбы и крикнули «фол!», сквозь травяное покрытие всплыла бы подводная лодка и торпедировала табло.

С другой стороны, если обнаружить хоть одно различие между виртуальной и реальной средой, можно немедленно заявить о неточном воспроизведении. Конечно, если только виртуальной среде не присущи некоторые преднамеренно непредсказуемые черты. Например, рулетка по конструкции своей такова, что ее поведение предсказать невозможно. Если мы снимем фильм о рулетке, в которую играют в казино, этот фильм можно назвать точным, если числа,

которые выпадают на рулетке в фильме, совпадают с числами, которые действительно выпадали на рулетке во время съемок фильма. При каждом показе фильма числа будут те же самые: это абсолютно предсказуемо. Таким образом, точный образ непредсказуемой среды должен быть предсказуемым. Но что это значит для точного воспроизведения рулетки в виртуальной реальности? Как и раньше, это означает, что пользователь не должен обнаруживать заметных отличий от оригинала. Но это предполагает, что виртуальная рулетка не должна вести себя идентично оригиналу: если бы это происходило, либо ее, либо этот оригинал можно было бы использовать для предсказания поведения оставшегося, и тогда ни одна из них не была бы непредсказуемой. Кроме того, виртуальная рулетка не должна вести себя одинаково каждый раз, когда ее запускают. В совершенстве воссозданная рулетка должна быть столь же применима для азартных игр, сколь и реальная. Следовательно, она должна быть столь же непредсказуемой. Кроме того, она должна быть столь же беспристрастной, т. е. все числа должны появляться абсолютно случайно, с равной степенью вероятности.

Каким образом мы опознаем непредсказуемые среды, и как мы доказываем, что как будто бы случайные числа действительно распределены честно? Мы проверяем, соответствует ли виртуальная рулетка ее точному описанию, так же как проверяем на реальность какую-либо вещь: мы воздействуем на нее (вращаем колесо) и смотрим, реагирует ли она так, как обещано. Мы проводим значительное количество подобных наблюдений и осуществляем статистическую обработку результатов. Но опять, сколько бы ни проводилось проверок, нельзя заключить, что объект воспроизведен точно или хотя бы с определенной вероятностью точно. Ибо как бы беспорядочно, на первый взгляд, ни выпадали числа, они тем не менее могут выпадать по какой-то тайной схеме, которая позволила бы пользователю, знакомому с ней, предсказывать эти числа. Или, возможно, если мы зададим вслух вопрос о годе битвы при Ватерлоо, то следующие два числа неизменно будут показывать бы эту дату: 18, 15. С другой стороны, если появляющаяся последовательность кажется небеспристрастной, мы не можем быть уверены в том, что она таковой и является, но мы можем ут-

верждать о том, что рулетка, *вероятно*, воспроизведена неточно. Например, если на нашей виртуальной рулетке десять раз подряд выпало zero, нам следует сделать вывод, что, *вероятно*, мы неточно воссоздали беспристрастную рулетку.

При обсуждении генераторов образов я сказал, что точность созданного образа зависит от четкости и других характеристик чувств пользователя. Для виртуальной реальности это наименьшая из наших проблем. Безусловно, генератор виртуальной реальности, в совершенстве создающий данную среду для человека, не сможет этого сделать для дельфинов или инопланетян. Чтобы создать определенную среду для пользователя с данным видом органов чувств, генератор виртуальной реальности должен быть физически приспособлен к этим органам, а в его компьютере должны быть запрограммированы их характеристики. Однако модификации, которые необходимо сделать для данного вида пользователей, конечны, и их нужно осуществить лишь однажды. Они эквивалентны тому, что я назвал изготовлением нового «соединительного кабеля». При рассмотрении еще более сложных сред главным в задаче их воссоздания для данного типа пользователей становится написание программ расчета поведения этих сред, причем часть задачи, зависящая от вида пользователя, имея конечную сложность, становится по сравнению с этими программами пренебрежимо малой. Сейчас мы говорим о конечных пределах виртуальной реальности и поэтому рассматриваем сколь угодно точные, длинные и сложные виртуализации. Вот почему имеет смысл говорить о «воссоздании определенной среды», не указывая, для кого эта среда создается.

Мы видели, что существует четко определенное понятие точности передачи виртуальной реальности: точность — это близость (в пределах восприятия) создаваемой среды к задуманной. Но они должны быть близки при каждом возможном варианте поведения пользователя, поэтому, каким бы наблюдательным ни был человек, находящийся в виртуальной среде, он не сможет поручиться за то, что она точна (или — вероятно точна). Но опыт иногда показывает, что виртуализация неточна (или — вероятно неточна).

Эта дискуссия о точности в виртуальной реальности отражает отношение между теорией и экспериментом в науке. Там тоже

можно экспериментально доказать ложность общей теории, но никогда нельзя доказать ее истинность. И там тоже поверхностный взгляд на науку заключается в том, что она состоит только из предсказаний наших чувств-впечатлений. Правильный же взгляд следующий: несмотря на то, что чувства-впечатления играют свою роль, наука состоит в понимании всей реальности, из которой только бесконечно малую часть мы когда-либо воспринимали.

Программа в генераторе виртуальной реальности воплощает общую предсказательную теорию поведения виртуальной среды. Остальные составляющие следят за поведением пользователя, зашифровывают и расшифровывают сенсорные данные; это, как я уже сказал, довольно тривиальные функции. Таким образом, если среда физически возможна, ее воспроизведение, в сущности, эквивалентно нахождению правил предсказания результатов каждого эксперимента, который можно осуществить в этой среде. Из-за того способа, которым создается научное знание, все более точные предсказательные правила можно открывать только посредством все лучших объяснительных теорий. Поэтому точное воспроизведение физически возможной среды определяется пониманием ее физики.

Обратное также верно: открытие физики, которая описывает среду, зависит от создания воспроизводящей ее в виртуальной реальности. Обычно говорят, что научные теории только описывают и объясняют физические объекты и процессы, но не воспроизводят их. Например, объяснение солнечных затмений можно напечатать в книге. В компьютерную программу можно заложить астрономические данные и физические законы, чтобы предсказать затмение и распечатать его описание. Чтобы передать затмение в виртуальной реальности, потребуется дополнительное программное и аппаратное обеспечение. Однако все это уже есть в нашем мозге! Слова и числа, напечатанные компьютером, эквивалентны «описаниям» затмения только потому, что кто-то знает значение этих символов. То есть символы пробуждают в сознании читателя некое подобие предсказанных эффектов затмения, с которыми он будет сравнивать реальный вид этих эффектов. Более того, пробуждаемое «подобие» интерактивно. Затмение можно наблюдать разными способами: не-

вооруженным глазом, с помощью фотографий или различных научных инструментов; из некоторых мест на Земле видно полное солнечное затмение, из других мест — частное, а из третьих — затмения не видно вообще. В каждом случае наблюдатель увидит различные образы, которые теория позволяет предсказать. Компьютерное описание вызывает в сознании читающего не просто отдельный образ или ряд образов, а общий метод создания множества различных образов, соответствующих множеству способов размышления читателя при осуществлении наблюдений. Другими словами, это воссоздание в виртуальной реальности. Таким образом, в достаточно широком смысле, если принять во внимание процессы, которые должны происходить внутри разума ученого, наука и воспроизведение физически возможных сред в виртуальной реальности — это два термина, обозначающие одну и ту же деятельность.

А как же быть с передачей физически невозможных сред? В принципе, есть два существенно различных типа виртуальной реальности: в меньшем числе случаев описываются физически возможные среды, а в большем — физически невозможные. Но не исчезнет ли это различие при внимательном анализе? Рассмотрим генератор виртуальной реальности в процессе воспроизведения физически невозможной среды. Например, это может быть пилотажный тренажер, в котором программа рассчитывает вид, открывающийся из кабины самолета, способного лететь быстрее скорости света. Пилотажный тренажер *генерирует* эту среду. Но тренажер — это еще и физический объект, окружающий пользователя, и в этом смысле он сам является средой, которую ощущает пользователь. Давайте рассмотрим эту среду. Ясно, что эта среда физически возможна. Поддается ли такая среда воспроизведению? Безусловно. В действительности ее на редкость легко воссоздать: достаточно просто использовать второй тренажер той же конструкции, работающий по идентичной программе. При таких обстоятельствах второй пилотажный тренажер можно считать воспроизводящим либо физически невозможный самолет, либо физически возможную среду, а именно — первый тренажер. Аналогичным образом первый тренажер можно рассмотреть как воспроизводящий физически возможную среду, а именно — второй тренажер. Если мы считаем,

что любой генератор виртуальной реальности, который в принципе можно построить, можно в принципе построить и еще раз, то из этого следует, что каждый генератор виртуальной реальности, работающий по любой программе из своего репертуара, воссоздает некую физически возможную среду. Он может воссоздавать и другие вещи, включая физически невозможные среды, но, в частности, всегда есть некая физически возможная среда, которую он воспроизводит.

Так какие же физически невозможные среды можно создать в виртуальной реальности? В точности те, которые не отличаются ощутимым образом от физически возможных сред. Следовательно, физический мир и миры, которые можно воссоздать в виртуальной реальности, связаны между собой гораздо теснее, чем это кажется. Мы считаем одни виртуализации описывающими факт, а другие — описывающими вымысел, но вымысел — это всегда интерпретация в мозгу наблюдателя. Не существует такой виртуальной среды, которую бы пользователь вынужден был интерпретировать как физически невозможную.

Мы могли бы решить воспроизвести некоторую среду как предсказанную определенными «законами физики», отличными от действительных. Это можно сделать ради упражнения, развлечения или в качестве аппроксимации, поскольку воспроизведение действительных законов может оказаться слишком сложным или дорогим. Если используемые нами законы близки к истинным настолько, насколько это возможно, и известны ограничения, при которых мы работаем, то такие виртуализации можно назвать «прикладной математикой» или «вычислительной техникой». Если созданные объекты значительно отличаются от физически возможных, можно назвать такую виртуализацию «чистой математикой». Если физически невозможную среду создают ради развлечения, мы называем это «видеоигрой» или «компьютерным искусством». Все это — интерпретации. Они могут быть полезны или даже необходимы для объяснения наших мотивов при создании определенной виртуализации. Но что касается ее самой, всегда существует альтернативная интерпретация, а именно: данная виртуализация точно описывает какую-то физически возможную среду.

Математику не принято считать формой виртуальной реальности. Мы обычно думаем, что математика занимается абстрактными сущностями, например, числами и множествами, не воздействующими на чувства; а потому может показаться, что вопроса об искусственном воспроизведении их воздействия на нас возникнуть не может. Однако, несмотря на то что математические сущности не воздействуют на чувства, занятия математикой являются внешним опытом в той же степени, в какой являются внешним опытом занятия физикой. Мы делаем заметки на бумаге, смотрим на них или представляем, что смотрим на них — в действительности невозможно заниматься математикой, не воображая абстрактные математические сущности. Но тем самым мы изображаем среду, «физика» которой воплощает сложные и автономные свойства этих сущностей. Например, представляя абстрактное понятие отрезка прямой, которая не имеет толщины, мы можем вообразить прямую, которая видима, но ее толщина незаметна. Это уже очень близко к тому, чтобы быть представленным в качестве физической реальности. Но математически толщина этой прямой должна оставаться нулевой даже при произвольно выбранном увеличении. Это свойство не является свойством любой физической линии, но его можно достичь в виртуальной реальности нашего воображения.

Воображение — это непосредственная форма виртуальной реальности. Может быть, это не так очевидно, но наше «непосредственное» восприятие мира через наши чувства — тоже виртуальная реальность. Дело в том, что наш внешний опыт никогда не бывает непосредственным; мы никогда не воспринимаем непосредственно даже сигналы наших нервов — иначе мы просто не знали бы, что делать с их потоками электрических потрескиваний. То, что мы ощущаем непосредственно, — это воспроизведение в виртуальной среде, удобно созданной для нас нашим бессознательным разумом из сенсорных данных вместе со сложными теориями (т.е. программами) их интерпретации, рожденными в нашем разуме и приобретенными извне.

Мы, реалисты, придерживаемся мнения, что реальность существует: объективная, физическая, независимая от того, что мы о ней думаем. Но мы никогда не воспринимаем эту реальность непосред-

ственно. Каждая отдельная крупинка наших внешних ощущений — это часть виртуальной реальности. И каждая отдельная крупинка нашего знания, включая знание нефизических миров — логики, математики, философии, воображения, вымысла, искусства и фантазии, — закодирована в виде программ для воссоздания этих миров с помощью генератора виртуальной реальности в нашем собственном мозгу.

Таким образом, виртуальная реальность является частью не только науки, то есть суждений о физическом мире. Всякое рассуждение, любое мышление и весь внешний опыт есть формы виртуальной реальности. Всё это — физические процессы, которые до сих пор наблюдались только в одном месте Вселенной — в окрестностях планеты Земля. В главе 8 мы увидим, что все жизненные процессы также включают виртуальную реальность, но у людей с ней особые взаимоотношения. С биологической точки зрения воссоздание их окружающей среды в виртуальной реальности — это характерное для человека средство выживания. Другими словами, это причина существования людей. Экологическая ниша, занимаемая людьми, зависит от виртуальной реальности так же непосредственно и абсолютно, как экологическая ниша, занимаемая коалами, зависит от эвкалиптовых листьев.

Терминология

Генератор образов — прибор, способный создавать у пользователя точно определенные ощущения.

Универсальный генератор образов — генератор образов, который можно запрограммировать на создание любого ощущения, которое способен испытать пользователь.

Внешний опыт — впечатление о чем-либо, что находится за пределами собственного разума.

Внутренний опыт — впечатление о чем-либо, что находится в собственном разуме.

Физически возможный — не запрещенный законами физики. Среда физически возможна тогда и только тогда, когда она существует где-либо в мультиверсе (предполагается, что начальное со-

стояние и другие дополнительные данные мультиверса определяются какими-то, еще неизвестными законами физики).

Логически возможный — внутренне непротиворечивый.

Виртуальная реальность — любая ситуация, в которой пользователю дается ощущение нахождения в точно описанной среде.

Репертуар генератора виртуальной реальности — это набор сред, для которых генератор может создать пользователю ощущение присутствия в них.

Образ — что-либо, рождающее ощущения.

Точность — образ является точным настолько, насколько создаваемые им ощущения близки к тем, которые нужно было создать. Виртуальная среда является точной настолько, насколько она способна отреагировать должным образом на каждое возможное действие пользователя.

Совершенная точность — точность настолько высокая, что пользователь не может отличить образ или виртуальную среду от тех, которые нужно было создать.

Резюме

Виртуальная реальность — это не просто технология моделирования поведения физических сред с помощью компьютеров. Тот факт, что виртуальная реальность возможна, — важная черта структуры реальности. Она является основой не только вычислений, но и человеческого воображения, внешних ощущений, науки и математики, искусства и литературы.

Каковы же крайние пределы — полная сфера применимости — виртуальной реальности (а следовательно, вычислений, науки, воображения и всего остального)? В следующей главе мы увидим, что в одном отношении сфера применимости виртуальной реальности безгранична, а в другом — чрезмерно ограничена.

Универсальность и пределы вычислений

Сердце генератора виртуальной реальности — его компьютер, и вопрос о том, какие среды можно воссоздать в виртуальной реальности, в конечном итоге должен сводиться к вопросу о том, какие вычисления можно осуществить. Даже сегодня репертуар генераторов виртуальной реальности в той же мере ограничен их компьютерами, в какой и генераторами образов. Как только к генератору виртуальной реальности подключают новый, более мощный компьютер, с увеличенным объемом памяти и более современной аппаратурой для обработки изображений, репертуар генератора расширяется. Но будет ли это продолжаться непрерывно, или в конце концов мы столкнемся с полной универсальностью, чего, как я уже утверждал, нам следует ожидать в случае с генераторами образов? Другими словами, есть ли такой генератор виртуальной реальности, который, будучи однажды построен, может быть запрограммирован на воспроизведение любой среды, которую способен воспринять человеческий разум?

Как и в случае с генераторами образов, здесь мы не подразумеваем, что один этот генератор виртуальной реальности мог бы содержать в себе описания всех логически возможных сред. Мы только имеем в виду, что его можно было бы запрограммировать для воспроизведения любой логически возможной среды. Можно предусмотреть кодирование таких программ, например, на магнитных дисках. Чем выше сложность среды, тем больше понадобится

дисков для хранения соответствующей программы. Таким образом, для создания сложных сред машина должна обладать механизмом (который я уже описал для универсального генератора образов), способным прочитать неограниченное количество дисков. В отличие от генератора образов, генератору виртуальной реальности может также понадобиться увеличение объема рабочей памяти, чтобы хранить промежуточные результаты вычислений. Для этого можно предусмотреть наличие чистых дисков. И снова тот факт, что машина должна обеспечиваться энергией, чистыми дисками и обслуживанием, не мешает нам считать эту установку «отдельной машиной» при условии, что все эти действия не равносильны изменению конструкции машины и не запрещены законами физики.

В этом смысле компьютер с фактически неограниченной емкостью памяти можно себе представить, по крайней мере принципиально. В отличие от компьютера с неограниченной скоростью вычислений. Компьютер определенной конфигурации всегда будет иметь фиксированную максимальную скорость, которую можно увеличить, только изменив эту конфигурацию. Следовательно, данный генератор виртуальной реальности не сможет выполнять неограниченное количество вычислений в единицу времени. Разве это не будет ограничивать его репертуар? Если вычисление того, что должен увидеть пользователь через одну секунду, из-за сложности среды занимает у машины больше секунды, то каким образом машина сможет точно воспроизвести эту среду? Для достижения универсальности нам необходим новый технологический трюк.

Чтобы расширить свой репертуар в такой степени, в какой это физически возможно, генератору виртуальной реальности пришлось бы взять под контроль еще одно свойство сенсорной системы пользователя: скорость обработки информации мозгом пользователя. Будь человеческий мозг подобен электронному компьютеру, достаточно было бы изменить скорость испускания синхронизирующих импульсов его генератором тактовой частоты. Несомненно, «часами» мозга управлять не так просто, но в принципе это не проблема. Мозг — конечный физический объект, и все его функции — физические процессы, которые в принципе можно за-

медлить или остановить. Предельный генератор виртуальной реальности должен обладать такой способностью.

Чтобы добиться совершенного воспроизведения сред, требующих большого объема вычислений, генератор виртуальной реальности должен был бы действовать приблизительно следующим образом. Каждый сенсорный нерв физически способен передавать сигналы с определенной максимальной частотой, поскольку возбуждавшаяся и передавшая импульс нервная клетка сможет вновь возбудиться только через одну миллисекунду. Следовательно, сразу после срабатывания определенного нерва у компьютера есть по крайней мере одна миллисекунда, чтобы решить, возбудится ли этот нерв снова и когда это произойдет. Если он вычислил решение, скажем, за половину миллисекунды, то в корректировке скорости работы мозга нет необходимости, и компьютер просто возбуждает этот нерв в нужное время. В противном случае компьютер заставляет мозг замедлить (или при необходимости остановить) свою работу до завершения вычисления следующего события; затем компьютер восстанавливает нормальную скорость работы мозга. Как бы это ощутил пользователь? По определению никак. Пользователь получил бы ощущение нахождения в среде, заданной в программе, без каких бы то ни было замедлений, остановок или повторных пусков. К счастью, генератору виртуальной реальности не нужно заставлять мозг работать *быстрее* нормального, поскольку это привело бы в итоге к принципиальным проблемам, так как, кроме всего прочего, ни один сигнал не может двигаться быстрее скорости света.

Этот метод позволяет нам заранее задать сколь угодно сложную среду, для моделирования которой потребуются любой конечный объем вычислений, и получить ощущение нахождения в этой среде при любой субъективной скорости и уровне детализации, которые наш разум способен воспринять. Если необходимых вычислений слишком много, чтобы компьютер смог выполнить их в течение субъективно воспринимаемого времени, ощущение все равно останется естественным, но пользователь заплатит за его сложность потерянным внешним временем. Он может выйти из генератора виртуальной реальности после пятиминутного, на его субъектив-

ный взгляд, пребывания там и обнаружить, что в физической реальности прошли годы.

Пользователь, мозг которого отключается на любое время, а потом снова включается, будет ощущать непрерывное пребывание в некоторой среде. Но пользователь, мозг которого отключен навсегда, с момента его отключения ничего не чувствует. Это значит, что программа, которая в какой-то момент может отключить мозг пользователя и уже никогда не включить его, не создает среду, которую пользователь почувствовал бы, и, следовательно, не может считаться адекватной программой для генератора виртуальной реальности. Но программа, которая в конечном итоге всегда включает мозг пользователя, позволяет генератору виртуальной реальности создавать какую-то среду. Даже программа, которая вообще не испускает нервных сигналов, создает темную безмолвную среду абсолютной сенсорной изоляции.

Поиски пределов виртуальной реальности увели нас очень далеко от того, что осуществимо сегодня, или даже от того, что достижимо в обозримой технологической перспективе. Поэтому я еще раз хочу подчеркнуть, что для целей нашего разговора технологические трудности не имеют значения. Мы не исследуем, какие виды генераторов виртуальной реальности могут быть построены или даже с необходимостью будут когда-нибудь построены инженерами. Мы изучаем, что позволяют, а что не позволяют законы физики в области виртуальной реальности. Причина важности всего этого никак не связана с перспективой создания лучших генераторов виртуальной реальности. Суть в том, что отношение между виртуальной реальностью и «обычной» реальностью — часть глубокого, неожиданного устройства мира, о котором и рассказывает эта книга.

Рассматривая всевозможные трюки — стимуляцию нервов, остановку и запуск мозга и т. д., — мы смогли представить себе физически возможный генератор виртуальной реальности, репертуар которого охватывает весь сенсорный диапазон. Кроме того, этот генератор полностью интерактивен и не ограничен ни скоростью, ни объемом памяти своего компьютера. Существует ли что-либо, что не входит в репертуар такого генератора виртуальной реаль-

ности? Будет ли этот репертуар набором всех логически возможных сред? Нет. Репертуар даже этой фантастической машины резко ограничен хотя бы тем, что она представляет собой физический объект. Она даже поверхностно не затрагивает то, что возможно логически, и сейчас я докажу это.

Основная идея такого доказательства — известного как *диагональный аргумент* — предшествует идее виртуальной реальности. Впервые этот аргумент использовал математик XIX века Георг Кантор¹, чтобы доказать существование бесконечных величин, превышающих бесконечность натуральных чисел (1, 2, 3...). Такого же рода доказательство лежит в основе современной теории вычислений, разработанной Аланом Тьюрингом² и другими в 1930-х годах. Им также пользовался Курт Гёдель³ для доказательства своей знаменитой «теоремы о неполноте», о которой я подробнее расскажу в главе 10.

Каждая среда в репертуаре нашей машины формируется некой программой, заложенной в ее компьютер. Представьте себе набор всех адекватных программ для этого компьютера. С точки зрения физики каждая из этих программ задает конкретный набор значений физических переменных на дисках или других носителях, которые представляют компьютерную программу. Из квантовой теории нам известно, что все такие переменные квантуются, и, следовательно, независимо от того, как работает компьютер, набор возможных программ дискретен. Значит, каждую программу можно выразить как конечную последовательность символов в дис-

¹ Георг Фердинанд Людвиг Филипп Кантор (1845–1918) — германский математик, создатель теории множеств, понятия о мощности бесконечного множества и о континууме. — *Прим. ред.*

² Алан Мэтисон Тьюринг (1912–1954) — британский математик и криптоаналитик, родоначальник информатики, создатель концепции абстрактной машины Тьюринга и участник разработки первых цифровых компьютеров. — *Прим. ред.*

³ Курт Фридрих Гёдель (1906–1978) — австрийский математик, логик и философ. В 1931 г. опубликовал доказательство теоремы о неполноте, утверждающей, что для любой формальной системы аксиом существует утверждение, истинность или ложность которого в ее рамках не может быть доказана. — *Прим. ред.*

кретном коде или на компьютерном языке. Существует бесконечное множество таких программ, но каждая из них может содержать лишь конечное количество символов. Так происходит потому, что символы — это физические объекты, созданные из вещества в узнаваемых конфигурациях, и бесконечное количество символов создать невозможно. Как я объясню в главе 10, эти интуитивно очевидные физические требования (что программы должны квантоваться, что каждая должна состоять из конечного числа символов и выполняться последовательно по этапам) гораздо более существенны, чем кажется. Они являются единственными следствиями законов физики, которые необходимы в качестве посылок нашего доказательства, но их достаточно, чтобы наложить очень сильные ограничения на репертуар любой физически возможной машины. Другие физические законы могут наложить более серьезные ограничения, но они никак не повлияют на выводы этой главы.

Теперь давайте представим себе, что весь этот бесконечный набор возможных программ организован в виде бесконечно длинного нумерованного списка: программа № 1, программа № 2 и т. д. Эти программы можно расположить, например, в «алфавитном» порядке по отношению к символам, в которых они выражены. Поскольку каждая программа формирует некую среду, этот список можно рассматривать и как список всех сред из репертуара данной машины; мы можем называть их среда № 1, среда № 2 и т. д. Возможно, некоторые среды в списке будут повторяться, потому что две разные программы в действительности могут осуществлять одинаковые вычисления, но это никак не повлияет на доказательство. Важно то, что каждая среда из репертуара нашей машины должна появиться в списке хотя бы один раз.

Виртуальная среда может быть как ограниченной, так и неограниченной в видимом физическом размере и видимой длительности. Виртуальным домом, созданным архитектором, например, можно будет пользоваться сколь угодно долго, но объем этой среды, вероятно, будет ограничен. Видеоигра может выделить пользователю только конечное игровое время до ее окончания, но может генерировать игру-вселенную неограниченных размеров, давая возможность неограниченного количества исследований, и пользователь

может лишь сознательно завершить ее. Для упрощения доказательства мы будем рассматривать только неограниченно долго работающие программы. Это не такое уж большое ограничение, потому что если программа останавливается, то мы всегда можем рассматривать отсутствие ответной реакции с ее стороны как ответ от среды сенсорной изоляции.

Мне хотелось бы определить класс логически возможных сред, которые я назову *CGT-средами*, частично в честь Кантора, Гёделя и Тьюринга, а частично по причине, которую я скоро объясню. Я определяю их следующим образом. В течение первой субъективной минуты среда типа CGT ведет себя не так, как среда № 1 (созданная программой № 1 нашего генератора). Неважно, как именно она себя ведет, важно, что пользователь ощущает отличие ее поведения от поведения среды № 1. В течение второй минуты эта среда ведет себя отлично от среды № 2 (но теперь может напоминать среду № 1). В течение третьей минуты она ведет себя отлично от среды № 3 и т. д. Любую среду, которая удовлетворяет этим условиям, я назову CGT-средой.

Далее, поскольку CGT-среда не ведет себя в точности как среда № 1, она не может *быть* средой № 1; поскольку она не ведет себя в точности как среда № 2, она не может *быть* средой № 2. Поскольку рано или поздно она гарантированно будет вести себя не так, как среда № 3, среда № 4 и любая другая среда из нашего списка, значит, она не может быть ни одной из этих сред. Однако по допущению этот список содержит все среды, созданные каждой возможной программой для этой машины. Следовательно, ни одна CGT-среда не входит в репертуар машины. CGT-среды — это те среды, в которые мы *не можем пойти*¹, используя данный генератор виртуальной реальности.

Ясно, что существует невообразимо много сред типа CGT, потому что данное определение оставляет огромную свободу выбора возможного поведения этих сред; единственное ограничение со-

¹ В оригинале автор использует название *Cantgotu*, составленное из начальных частей фамилий Cantor, Gödel и Turing и созвучное английской фразе «Can't go to» («Не могу пойти в...»). — *Прим. ред.*

стоит в том, что в течение каждой минуты они не должны вести себя вполне определенным образом. Можно доказать, что для каждой среды из репертуара данного генератора виртуальной реальности существует бесконечно много CGT-сред, которые генератор не может создать. Не удастся принципиально расширить репертуар и путем использования ряда различных генераторов виртуальной реальности. Допустим, что у нас есть сто таких генераторов, причем у каждого (в целях доказательства) отличный от других репертуар. Тогда весь набор генераторов вместе с программируемой системой управления, определяющей, какие из них нужно использовать для запуска данной программы, — это просто более крупный генератор виртуальной реальности. Такой генератор также подчиняется приведенному мной доказательству, поэтому для каждой среды, которую он может создать, будет существовать бесконечно много сред, которые он создать не сможет. Более того, допущение о том, что различные генераторы виртуальной реальности могут иметь различные репертуары, оказывается чрезмерно оптимистичным. Как мы скоро увидим, все достаточно сложные генераторы виртуальной реальности имеют по сути один и тот же репертуар.

Таким образом, наш гипотетический проект создания предельного генератора виртуальной реальности, который столь уверенно продвигался вперед, внезапно наткнулся на кирпичную стену. Какие бы усовершенствования ни произошли в отдаленном будущем, репертуар всей технологии виртуальной реальности никогда не выйдет за пределы некоторого фиксированного набора сред. Следует признать, что этот набор бесконечно велик и весьма разнообразен по сравнению с человеческим опытом, предшествующим появлению технологии виртуальной реальности. Тем не менее это всего лишь бесконечно малая доля набора всех логически возможных сред.

На что было бы похоже пребывание в CGT-среде? Хотя законы физики и не позволяют нам оказаться в такой среде, логически это возможно, а потому вопрос об ощущениях правомерен. Безусловно, она не дала бы нам никаких новых *ощущений*, поскольку универсальный генератор образов *является* возможным и считается частью нашего высокотехнологичного генератора вирту-

альной реальности. Таким образом, CGT-среда оказалась бы нам загадочной лишь после того, как мы оказались бы в ней и поразмышляли над результатами. Это было бы примерно так. Допустим, что вы фанат виртуальной реальности из далекого ультратехнологического будущего. Вы пресытились: кажется, вы уже испробовали все интересное. Но вдруг однажды появляется джинн и заявляет, что он может перенести вас в CGT-среду. Вы сомневаетесь, но согласны проверить его способности. Вас мгновенно переносят в эту среду. После нескольких экспериментов вам кажется, что вы узнаете ее: она реагирует как одна из ваших любимейших сред, которая на вашей домашней системе виртуальной реальности создается при запуске программы под номером X. Однако вы продолжаете экспериментировать, и в конце концов по окончании субъективной минуты номер X реакция среды становится явно отличной от той, которую могла бы предложить среда X. Тогда вы отказываетесь от мысли, что это есть среда X. Потом вы можете заметить, что все происшедшее очень напоминает другую воспроизводимую у вас среду — среду Y. Но по истечении субъективной минуты номер Y вы понимаете, что вновь ошиблись. Для CGT-среды характерно следующее: сколько бы вы ни гадали, какой бы сложной ни была программа, которую вы приняли за программу, создающую именно эту среду, вы всегда обнаружите ошибку, потому что *ни одна* программа не создаст ее ни на вашем генераторе виртуальной реальности, ни на каком-то другом.

Рано или поздно вам придется завершить свою проверку. К тому времени вы, может быть, справедливо решите признать правоту джинна. Я не хочу сказать, что вы когда-либо сможете *доказать*, что были в CGT-среде, поскольку всегда существует еще более сложная программа, которую мог выполнять джинн и которая могла бы соответствовать полученным вами до этого момента ощущениям. Просто такова общая черта виртуальной реальности, о которой я уже говорил, — опыт не может доказать пребывание человека в данной среде, будь это центральный корт Уимблдона или среда типа CGT.

В любом случае не существует ни таких джиннов, ни таких сред. Поэтому следует сделать вывод, что физика не дает реперту-

ару генератора виртуальной реальности даже приблизиться к тому огромному репертуару, который позволяет одна лишь логика. Насколько же велик может быть этот репертуар?

Поскольку мы не можем надеяться на воспроизведение всех логически возможных сред, давайте рассмотрим более слабую (но в конечном счете более интересную) степень универсальности. Определим *универсальный генератор виртуальной реальности* как генератор, репертуар которого содержит репертуары всех остальных физически возможных генераторов виртуальной реальности. Может ли существовать такая машина? Может. Размышление о фантастических устройствах, основанных на управляемой компьютером стимуляции нервов, делает это очевидным — в действительности почти слишком очевидным. Подобную машину можно было бы запрограммировать так, чтобы она имела характеристики любой машины-конкурента. Она могла бы вычислить реакции иной машины при любой данной программе в ответ на любое поведение пользователя и, следовательно, смогла бы воспроизвести эти реакции с совершенной точностью (с точки зрения любого данного пользователя). Я говорю, что это «почти слишком очевидно», потому что здесь содержится важное допущение относительно того, на выполнение каких действий можно запрограммировать предлагаемое устройство, а точнее, его компьютер: при наличии подходящей программы, достаточного времени и средств хранения информации компьютер смог бы рассчитать результат любого вычисления, выполненного любым другим компьютером, в том числе и компьютером конкурирующего генератора виртуальной реальности. Таким образом, возможность реализации универсального генератора виртуальной реальности зависит от существования универсального компьютера — отдельной машины, способной вычислить все, что только можно вычислить.

Как я уже сказал, такая универсальность была впервые изучена не физиками, а математиками. Они пытались придать строгость интуитивному понятию «вычисления» («расчета» или «доказательства») в математике. Они не учитывали, что математическое вычисление — это физический процесс (в частности, как я уже объяснил, процесс создания в виртуальной реальности), поэтому путем

математического рассуждения невозможно определить, что можно вычислить математически, а что нельзя. Это полностью зависит от законов физики. Но вместо того, чтобы пытаться вывести свои результаты из законов физики, математики постулировали абстрактные модели «вычисления» и *определили* «расчет» и «доказательство» на основе этих моделей. (Я вернусь к этой интересной ошибке в главе 10.) Вот так и получилось, что за несколько месяцев 1936 года три математика — Эмиль Пост¹, Алонзо Чёрч² и, главное, Алан Тьюринг — независимо друг от друга создали первые абстрактные схемы универсальных компьютеров. Каждый из них считал, что его модель «вычисления» действительно правильно формализует традиционное интуитивное понятие математического «вычисления». Следовательно, каждый из них также полагал, что его модель эквивалентна (имеет тот же репертуар) любой другой разумной формализации подобной интуиции. Сейчас это известно как *гипотеза Чёрча–Тьюринга*.

Модель вычисления Тьюринга и концепция природы проблемы, которую он решал, была наиболее близка к физике. Его абстрактный компьютер, *машина Тьюринга*, представлял собой бумажную ленту, разделенную на квадраты, причем на каждом квадрате был написан один из конечного числа легко различимых символов. Вычисление осуществлялось следующим образом: на каждом шаге считывался один квадрат, затем лента перемещалась вперед или назад и производилось стирание или запись одного из символов в соответствии с простыми недвусмысленными правилами. Тьюринг доказал, что один конкретный компьютер такого типа, *универсальная машина Тьюринга*, имеет объединенный репертуар всех других машин Тьюринга. Он предположил, что этот репертуар в точности состоит из «всех функций, которые естественно полагать вычислимыми». Он имел в виду вычислимость *математиками*.

¹ Эмиль Леон Пост (1897–1954) — американский математик и логик, работавший в области математической логики, теории вычислимости и теории рекурсии. Независимо от Тьюринга разработал математическую модель вычисления. — *Прим. ред.*

² Алонзо Чёрч (1903–1995) — американский математик и логик, создатель лямбда-исчисления. — *Прим. ред.*

Однако математики — это достаточно нетипичные физические объекты. Почему мы должны допускать, что воспроизведение их в ходе выполнении вычислений — предел вычислительных задач? Оказывается, что не должны. Как я объясню в главе 9, *квантовые компьютеры* могут выполнять вычисления, которые ни один человек-математик никогда, даже в принципе, не сможет выполнить. В работе Тьюринга неявно выражено его ожидание того, что функции, которые «естественно полагать вычислимыми», могли бы, по крайней мере в принципе, быть вычисленными и в природе. Это ожидание эквивалентно более сильной, физической версии гипотезы Чёрча–Тьюринга. Математик Роджер Пенроуз¹ предложил назвать его *принципом Тьюринга*.

Принцип Тьюринга (для абстрактных компьютеров, имитирующих физические объекты)

Существует абстрактный универсальный компьютер, репертуар которого включает любое вычисление, выполнимое каким-либо физически возможным объектом.

Тьюринг считал, что «универсальный компьютер», о котором идет речь, — это универсальная машина Тьюринга. Чтобы принять во внимание более широкий репертуар квантовых компьютеров, я сформулировал принцип в такой форме, которая не указывает, какой именно «абстрактный компьютер» выполняет эту работу.

Приведенным мной доказательством существования CGT-сред я, в сущности, обязан Тьюрингу. Как я уже сказал, он не думал явным образом в терминах виртуальной реальности, но «среда, которую можно воспроизвести», соответствует некоторому классу математических вопросов, ответ на которые можно рассчитать. Эти вопросы *вычислимы*. Все остальные вопросы, ответы на которые невозможно рассчитать, называются *невычислимыми*. Если вопрос

¹ Роджер Пенроуз (род. 1931) — британский физик-теоретик, философ и популяризатор науки. Известен работами в области общей теории относительности и космологии. — *Прим. ред.*

невывислим, это не значит, что на него нет ответа или что этот ответ в каком-то смысле плохо определен или неоднозначен. Напротив, это значит, что у этого вопроса определенно есть ответ. Дело просто в том, что физически не существует, даже в принципе, способа получить этот ответ (точнее, — поскольку человек всегда может высказать удачную, хотя и не поддающуюся проверке догадку, — доказать, что это и есть ответ). Например, *парные простые числа* — это два простых числа, разность которых равна 2 (например, 3 и 5 или 11 и 13). Математики тщетно пытались ответить на вопрос, существует ли бесконечно много таких пар или их количество все же конечно. Неизвестно даже, вычислим ли этот вопрос. Предположим, что нет. Это эквивалентно утверждению о том, что ни один человек или компьютер никогда не сможет создать доказательство того, что количество парных простых чисел конечно, или же что их бесконечно много. Тем не менее ответ на этот вопрос существует: можно сказать с уверенностью, что либо существует наибольшая пара чисел-близнецов, либо таких пар бесконечно много; третьего не дано. Вопрос остается четко определенным, несмотря на то что мы, возможно, никогда не узнаем ответа.

Что касается виртуальной реальности, то ни один физически возможный ее генератор не сможет создать среду, в которой ответы на невычислимые вопросы выдаются по запросу пользователя. Такие среды относятся к CGT-средам. Верно и обратное: каждая CGT-среда соответствует классу математических вопросов («что произошло бы далее в среде, определенной так-то и так-то?»), на которые физически невозможно дать ответ.

Несмотря на то, что невычислимые вопросы бесконечно более многочисленны, чем вычислимые, они тяготеют к эзотерике. Это не случайно. Так происходит потому, что разделы математики, которые мы склонны считать в наименьшей степени эзотерическими, — это разделы, отражение которых мы видим в поведении физических объектов в знакомых ситуациях. В таких случаях мы часто можем воспользоваться этими физическими объектами, чтобы ответить на вопросы о соответствующих математических отношениях. Например, мы можем считать на пальцах, потому что физика пальцев естественным образом имитирует арифметику целых чисел от нуля до десяти.

Вскоре после первых публикаций была доказана идентичность репертуаров трех очень разных абстрактных компьютеров, определенных Тьюрингом, Чёрчем и Постом. Таковыми же являются и репертуары всех абстрактных моделей математического вычисления, которые предлагались с тех пор. Это считается аргументом в поддержку гипотезы Чёрча–Тьюринга и универсальности универсальной машины Тьюринга. Однако вычислительная мощь абстрактных машин не имеет никакого отношения к тому, что вычислимо в реальности. Сфера охвата виртуальной реальности со всеми следствиями, которые вытекают из нее в отношении постижимости природы и других аспектов структуры реальности, зависит от того, реализуемы ли необходимые компьютеры физически. В частности, любой настоящий универсальный компьютер должен быть физически реализуем сам по себе. Это ведет к сильному варианту принципа Тьюринга:

Принцип Тьюринга
(для физических компьютеров,
имитирующих друг друга)

Возможно построить универсальный компьютер: машину, которую можно запрограммировать для выполнения любого вычисления, выполняемого любым другим физическим объектом.

Следовательно, если бы универсальный компьютер управлял универсальным генератором образов, то получившаяся в результате машина стала бы универсальным генератором виртуальной реальности. Другими словами, справедлив и следующий принцип:

Принцип Тьюринга
(для генераторов виртуальной реальности,
воспроизводящих друг друга)

Возможно построить генератор виртуальной реальности, репертуар которого включает репертуар каждого другого физически возможного генератора виртуальной реальности.

Далее, любую среду можно воспроизвести с помощью генератора виртуальной реальности некоторого рода (например, всегда

можно рассматривать копию этой самой среды как генератор виртуальной реальности, возможно, с очень маленьким репертуаром). Таким образом, из этого варианта принципа Тьюринга также следует, что любая физически возможная среда воспроизводима с помощью универсального генератора виртуальной реальности. Следовательно, чтобы выразить очень сильное самоподобие, которое существует в структуре реальности и охватывает не только вычисления, но и все физические процессы, принцип Тьюринга можно сформулировать в следующей всеобъемлющей форме:

Принцип Тьюринга

Возможно построить генератор виртуальной реальности, репертуар которого включает каждую физически возможную среду.

Это наиболее сильная форма принципа Тьюринга. Она не только говорит нам, что различные части реальности могут походить друг на друга. Она говорит, что отдельный физический объект, который можно построить раз и навсегда (не считая обслуживания и при необходимости поставки дополнительной памяти), может выполнять с неограниченной точностью задачу описания или имитации любой другой части мультиверса. Набор всех вариантов поведения и реакций одного этого объекта в точности отражает все варианты поведения и реакций всех остальных физически возможных объектов и процессов¹.

Именно такой род самоподобия необходим, если, в соответствии с надеждой, которую я выразил в главе 1, структура реальности действительно едина и постижима. Если законы физики в применении к любому физическому объекту или процессу должны быть постижимы, то должна существовать возможность их воплощения в другом физическом объекте — объекте, который будет их знать. Также необходимо, чтобы процессы, способные создать такое знание, были физически возможны. Такие процессы называются наукой. Наука зависит от экспериментальных проверок, означающих для предска-

¹ В такой формулировке он известен как принцип Чёрча–Тьюринга–Дойча. — Прим. ред.

заний, даваемых законами, их физическое воспроизведение и сравнение его с (воспроизведением) реальности. Наука также зависит от объяснений, а потому требуется, чтобы сами абстрактные законы, а не просто их предсказательное содержание, можно было воспроизвести в виртуальной реальности. Это серьезный запрос, но реальность, то есть законы физики удовлетворяет ему. Законы физики, согласуясь с принципом Тьюринга, делают физически возможным для самих законов стать известными физическими объектами. Таким образом, можно сказать, что сами законы физики гарантируют свою собственную постижимость.

Поскольку построить универсальный генератор виртуальной реальности физически возможно, в некоторых вселенных он должен быть *действительно* построен. Здесь я должен сделать предостережение. Как я объяснил в главе 3, мы можем нормально определить физически возможный процесс как процесс, который действительно происходит где-то в мультиверсе. Но, строго говоря, универсальный генератор виртуальной реальности — это предельный случай, требующий для своего функционирования произвольно больших ресурсов. Поэтому, говоря «физически возможный», мы в действительности подразумеваем, что в мультиверсе существуют генераторы виртуальной реальности, репертуары которых сколь угодно близки к набору всех физически возможных сред. Подобным же образом, поскольку законы физики можно воспроизвести, где-то их *действительно* воспроизводят. Таким образом, из принципа Тьюринга (более сильной его формы, за которую я выступаю) следует, что законы физики не просто гарантируют свою собственную постижимость в каком-то абстрактном смысле, то есть постижимость некими абстрактными учеными. Они предполагают физическое существование где-то в мультиверсе таких сущностей, которые понимают их сколь угодно хорошо. К этому следствию я вернусь в следующих главах.

Сейчас я возвращаюсь к вопросу, который задал в предыдущей главе, а именно: правда ли то, что если бы мы располагали для познания лишь воспроизведением виртуальной реальности, основанной на неправильных законах физики, то мы должны были бы узнать неправильные законы? Первое, что мне хотелось бы подчерк-

нуть, — это то, что мы и *вправду* располагаем в качестве источника знаний только виртуальной реальностью, основанной на неправильных законах! Как я уже сказал, весь наш внешний опыт связан с виртуальной реальностью, созданной нашим мозгом. А поскольку наши концепции и теории (будь они врожденные или приобретенные) никогда не являются совершенными, все наши воспроизведения на самом деле неточны. Иными словами, они дают нам ощущение среды, которая значительно отличается от среды, в которой мы действительно находимся. Миражи и другие оптические иллюзии — тому примеры. Далее, мы ощущаем, что земля под нашими ногами находится в состоянии покоя, несмотря на то, что в действительности она совершает быстрое и сложное движение. Кроме того, в каждый момент мы ощущаем одну вселенную и один экземпляр нашего сознательного «я», тогда как в реальности их много. Но эти неточные и вводящие в заблуждение впечатления не дают аргументов против научного рассуждения. Напротив, такие недостатки являются его отправной точкой.

Нам приходится решать задачи о физической реальности. Если окажется, что все это время мы просто изучали программирование космического планетария, то это будет просто означать, что мы изучали меньшую часть реальности, чем нам казалось. Ну и что? Такое происходило много раз в истории науки, когда наши горизонты расширялись за пределы Земли, чтобы включить Солнечную систему, нашу Галактику, другие галактики, скопления галактик и т. д. и, конечно, параллельные вселенные. Еще одно подобное расширение может случиться завтра; на самом деле оно может произойти в соответствии с одной из бесконечного множества возможных теорий, а может и не произойти никогда. Логически мы должны согласиться с солипсизмом и родственными ему доктринами в том, что изучаемая нами реальность *может* быть непредставительной частью большей, недостижимой или непостижимой структуры. Но общее опровержение, которое я дал для таких доктрин, показывает, что основываться на такой возможности нерационально. Следуя Оккаму, мы примем эти теории тогда и только тогда, когда они обеспечат объяснения лучшие, чем объяснения их более простых конкурентов.

Однако есть вопрос, который мы все еще можем задать. Допустим, кого-либо заключили в небольшую, непредставительную часть нашей реальности, например, в универсальный генератор виртуальной реальности, запрограммированный по неправильным законам физики. Что могли бы узнать эти пленники о нашей внешней реальности? На первый взгляд кажется невозможным, чтобы они могли открыть хоть что-нибудь. Самое большее, как может показаться, что они могли бы открыть, — это законы управления, т. е. компьютерную программу, управляющую их заключением.

Но это не так! Мы снова должны принять во внимание, что если эти пленники — ученые, то они будут искать как предсказания, так и объяснения. Другими словами, они не будут удовлетворены простым знанием программы, управляющей местом их заключения: они захотят объяснить происхождение и свойства различных сущностей (включая и самих себя), наблюдаемых ими в той реальности, в которой они живут. Но в большинстве сред виртуальной реальности таких объяснений не существует, поскольку воспроизведенные объекты не имеют там начала — они создаются во внешней реальности. Предположим, что вы играете в виртуальную видеоигру. Для простоты допустим, что это игра в шахматы (возможно, это игра от первого лица, в которой вы играете роль короля). Вы воспользуетесь нормальными методами науки, чтобы открыть «физические законы» этой среды и их эмерджентные следствия. Вы узнаете, что шах, мат и пат — «физически» возможные явления (т. е. возможные при вашем наилучшем понимании действия среды), но положение с девятью белыми пешками «физически» невозможно. Как только вы поймете законы достаточно хорошо, вы заметите, что шахматная доска — слишком простой объект, чтобы, например, думать, и, следовательно, ваши собственные мыслительные процессы не могут находиться под управлением только законов шахмат. Подобным образом вы сможете также сказать, что на протяжении любого количества шахматных партий фигуры никогда не разовьются в самовоспроизводящиеся конфигурации. И если уж жизнь не может развиваться на шахматной доске, то что говорить о развитии там разума. Следовательно, вы могли бы также сделать вывод, что ваши собственные мыслительные процессы не могли

возникнуть в той вселенной, в которой вы себя обнаружили. Таким образом, даже если бы вы прожили всю свою жизнь в виртуальной среде и не имели бы своих собственных воспоминаний о внешнем мире, на которые можно было бы опереться, ваше знание не ограничилось бы этой средой. Вы бы знали: несмотря на то, что вселенная вроде бы имеет определенный вид и подчиняется определенным законам, вне ее должна существовать более обширная вселенная, которая подчиняется другим законам физики. И вы могли бы даже догадаться о некоторых отличиях этих более обширных законов от законов шахматной доски.

Артур Кларк¹ однажды заметил, что «любую достаточно сложную и развитую технологию невозможно отличить от волшебства». Это правда, но вводит в некоторое заблуждение. Такое заявление делается с точки зрения донаучного мыслителя, то есть с ошибочной позиции. В действительности для любого, кто понимает, что такое виртуальная реальность, даже настоящее волшебство будет неотличимо от технологии, поскольку в постижимой реальности нет места волшебству. Все, что кажется непостижимым, наука рассматривает просто как свидетельство существования чего-то еще не понятого нам, будь это магический трюк, перспективная технология или новый закон физики.

Рассуждение, исходящее из условия своего собственного существования, называется «антропным». Хотя оно определенным образом применимо в космологии, обычно его необходимо дополнять существенными допущениями о природе «себя», чтобы получить определенные выводы. Однако антропные рассуждения — не единственный способ, с помощью которого обитатели нашей гипотетической виртуальной тюрьмы могли бы получить знание о внешнем мире. Любое из развиваемых ими объяснений своего небольшого мира могло бы внезапно обнаружить выход во внешнюю реальность. Например, сами правила шахмат содержат то, в чем вдумчивый игрок может усмотреть «ископаемые свидетельства» эволюционной истории этих правил. Ведь есть нестандартные ходы,

¹ Артур Чарлз Кларк (1917–2008) — знаменитый британский писатель-фантаст, инженер и популяризатор науки. — *Прим. ред.*

такие как рокировка и взятие на проходе, которые усложняют правила, но вместе с тем и улучшают игру. Объясняя эту сложность, справедливо сделать вывод, что правила шахмат не всегда были такими, как сейчас.

В попперовской схеме вещей объяснения всегда ведут к новым проблемам, которые, в свою очередь, требуют новых объяснений. Если через некоторое время пленники не смогут усовершенствовать существующие у них объяснения, они, конечно, могут сдаться, возможно, ошибочно заключив, что объяснений нет вообще. Но если они не сдадутся, то они будут размышлять над теми аспектами окружающей их среды, которые, как им кажется, не имеют адекватного объяснения.

Таким образом, если бы хай-тек-тюремщики хотели быть уверенными, что созданная для пленников среда вечно будет заставлять их думать, что внешнего мира не существует, первым бы нужно было надежно изолировать последних. Чем более долгую иллюзию они хотели бы создать, тем более изоциренной должна быть программа. Недостаточно просто оградить пленников от наблюдения внешнего мира. Смоделированная среда должна быть такой, чтобы никакие объяснения того, что находится внутри, никогда не потребовали бы от пленника постулировать существование внешнего мира. Другими словами, эта среда должна быть замкнутой во всем, что касается объяснений. Но я сомневаюсь, что хоть какая-то часть реальности, не говоря уже обо всей реальности, обладает таким свойством.

Терминология

Универсальный генератор виртуальной реальности — это генератор, репертуар которого содержит каждую физически возможную среду.

CGT-среды — логически возможные среды, которые не могут быть созданы ни одним физически возможным генератором виртуальной реальности.

Диагональный аргумент — вид доказательства, при котором надо представить себе список сущностей, а затем использовать

этот список для создания родственной сущности, которой не может быть в этом списке.

Машина Тьюринга — одна из первых абстрактных моделей вычисления.

Универсальная машина Тьюринга — машина Тьюринга с репертуаром, содержащим репертуары всех других машин Тьюринга.

Принцип Тьюринга (в самой сильной форме) — построить универсальный генератор виртуальной реальности физически возможно. При сделанных мной допущениях это означает, что не существует верхней границы универсальности генераторов виртуальной реальности, которые действительно будут построены где-то в мультиверсе.

Резюме

Диагональное доказательство показывает, что подавляющее большинство логически возможных сред невозможно создать в виртуальной реальности. Я назвал такие среды CGT-средами. Тем не менее в физической реальности существует полное самоподобие, выраженное в принципе Тьюринга: *можно построить генератор виртуальной реальности, репертуар которого включает каждую физически возможную среду*. Таким образом, отдельный физический объект, который можно построить, способен имитировать все варианты поведения и реакции любого другого физически возможного объекта или процесса. Именно это делает реальность постижимой.

Это также делает возможной эволюцию живых организмов. Однако, прежде чем обсуждать теорию эволюции, четвертую основную нить объяснения структуры реальности, я должен сделать краткое отступление в эпистемологию.

Диалог об обосновании, или Дэвид Дойч и криптоиндуктивист

По-моему, мне удалось решить крупнейшую философскую проблему: проблему индукции.

Карл Поппер

Как я объяснил в предисловии, основная цель этой книги — не защита четырех основных нитей, а исследование того, что говорят эти нити и какого рода реальность они описывают. Именно поэтому я не рассматриваю сколько-нибудь подробно противостоящие им теории. Тем не менее существует одна враждебная теория, а именно — здравый смысл, — подробного опровержения которой требует мой разум всякий раз, когда она вступает в конфликт с тем, что я утверждаю. Поэтому в главе 2 я в пух и прах разбил логичную идею существования ровно одной вселенной. В главе 11 та же участь ожидает идею о том, что время «течет» или что наше сознание «движется» сквозь время. В главе 3 я критиковал индуктивизм, диктуемую здравым смыслом идею о том, что мы создаем теории о физическом мире, обобщая результаты наблюдений, и обосновываем свои теории, повторяя эти наблюдения. Я объяснил, что индуктивное обобщение на основе наблюдений невозможно, и что индуктивное обоснование является оши-

бочным. Я объяснил, что индуктивизм основывается на неверном представлении о том, будто наука ищет предсказания на основе наблюдений, в то время как в действительности она ищет объяснения в ответ на проблемы. Я также объяснил (следуя Попперу), как наука добивается прогресса, придумывая новые объяснения и затем выбирая из них лучшие с помощью экспериментов. Все это ученые и философы науки в основном принимают. Но большинство философов не принимают то, что этот процесс *обоснован*. Сейчас я объясню, в чем дело.

Наука ищет лучшие объяснения. Научное объяснение дает толкование нашим наблюдениям, постулируя нечто относительно того, какова наша реальность и как она работает. Мы считаем, что какое-то объяснение лучше других, если оно оставляет меньше неясностей (например, сущностей, свойства которых остались необъясненными), требует меньшего количества более простых постулатов, является более общим, проще согласуется с хорошими объяснениями из других областей и т. д. Но почему лучшее *объяснение* должно быть тем, чем мы всегда считаем его на практике, — показателем *более истинной теории*? Почему, коли на то пошло, откровенно плохое объяснение (скажем, не имеющее ни одного из вышеназванных качеств) обязательно должно быть ложным? Действительно, логически необходимой связи между истиной и объяснительной силой не существует. Плохое объяснение (например, солипсизм) *может* быть истинным. Даже самая лучшая и правильная из имеющихся теорий в определенных случаях может дать ложное предсказание, и это могут быть как раз те случаи, когда мы полагаемся на эту теорию. Ни одна корректная форма рассуждения не может логически исключить такую возможность или даже доказать, что она является маловероятной. Но в таком случае как обосновать то, что мы полагаемся на свои лучшие объяснения как на руководство в практическом принятии решений?

В более общем виде вопрос стоит так. *Какие бы* критерии мы ни использовали для суждения о научных теориях, как может тот факт, что некая теория сегодня удовлетворяет этим критериям, означать хоть что-нибудь относительно того, что произойдет, если мы будем полагаться на эту теорию завтра?

Такова современная форма «проблемы индукции». Большинство философов сегодня согласны с тезисом Поппера о том, что новые теории не из чего не выводят, они просто являются гипотезами. Философы также принимают, что научный прогресс достигается посредством предположений и опровержений (как описано в главе 3), и что теории принимают после опровержения всех их конкурентов, а не после получения многочисленных подтверждающих их примеров. Они согласны, что полученное таким образом знание на деле, как правило, оказывается надежным. Проблема в том, что они не понимают, почему это знание должно быть надежным. Традиционные индуктивисты пытались сформулировать «принцип индукции», который гласит, что подтверждающие примеры делают теорию более правдоподобной, или что «будущее будет похоже на прошлое», или что-то в этом роде. Они также пытались сформулировать индуктивистскую научную методологию, устанавливая правила о том, какие выводы можно обоснованно сделать из «данных». Все они потерпели неудачу по причинам, которые я уже объяснил. Но даже если бы они достигли успеха в смысле построения схемы, успешно следуя которой можно было бы создавать научное знание, это не решило бы задачу индукции в современном ее понимании. Ведь в этом случае «индукция» была бы еще одним возможным способом выбора теорий, а вопрос о том, *почему эти теории следует считать надежной основой для действия*, остался бы без ответа. Другими словами, философы, которых волнует эта «проблема индукции», — вовсе не индуктивисты в старом смысле этого слова. Они не пытаются получить или обосновать теории индуктивно. Они не ждут, что небо вдруг обрушится, но они не знают, как обосновать свои ожидания.

Современные философы жаждут получить это отсутствующее обоснование. Они уже не верят, что получают его от индукции, но тем не менее в их схеме вещей остается пробел в форме индукции, точно так же как религиозные люди, утратившие свою веру, страдают от «отсутствия Бога» в *своей* схеме вещей. Но, по-моему, разница между наличием X-образного пробела в схеме вещей и верой в X слишком мала. Поэтому, чтобы вписаться в более сложную концепцию проблемы индукции, мне хотелось бы дать новое определение

термину «индуктивист», подразумевая под ним человека, который считает *некорректность* индуктивного доказательства проблемой оснований науки. Другими словами, индуктивист считает, что существует некоторый пробел, который необходимо заполнить если не принципом индукции, то чем-то еще. Некоторые индуктивисты ничего не имеют против такого определения. Другие с ним не согласны, поэтому я буду называть их *криптоиндуктивистами*.

Большинство современных философов — криптоиндуктивисты. Хуже того, они (как и многие ученые) очень сильно недооценивают роль объяснения в научном процессе. Подобным образом ведет себя и большинство попперовских антииндуктивистов, которые тем самым пришли к отрицанию существования такой вещи как обоснование (и даже условное обоснование). Это открывает новый объяснительный пробел в их схеме всего. Философ Джон Уорралл¹ изложил свое видение этой задачи в воображаемом диалоге Поппера с еще несколькими философами под названием «Почему Поппер и Уоткинс не смогли решить проблему индукции». Место действия — вершина Эйфелевой башни. Один из участников — назовем его Парящим — решает спуститься с башни не на лифте, как обычно, а прыгнуть. Остальные пытаются убедить Парящего, что прыжок вниз означает верную смерть. Они используют лучшие научные и философские аргументы. Но неугомонный Парящий по-прежнему ожидает, что будет безопасно парить в воздухе, и продолжает указывать на невозможность доказать предпочтительность ожидания иного исхода на основе прошлого опыта.

Я считаю, что мы можем обосновать наше ожидание гибели Парящего. Обоснование (конечно, всегда условное) приходит из объяснений, предоставленных имеющими отношение к вопросу научными теориями. В той степени, в какой эти объяснения хороши, рационально оправданно полагаться на предсказания соответствующих теорий. Поэтому в ответ Уорраллу я привожу свой собственный диалог. Место действия — то же самое.

¹ Джон Уорралл (John Worrall, род. 1946) — британский философ, профессор философии науки в Лондонской школе экономики. Сторонник теории структурного реализма, восходящей к работам Анри Пуанкаре. — *Прим. ред.*

ДЭВИД: С тех пор, как я прочел то, что Поппер писал об индукции, я убежден, что он действительно, как и заявлял, решил проблему индукции. Но лишь немногие философы с этим согласны. Почему?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Потому что Поппер никогда не обращался к проблеме индукции в нашем понимании. То, чем он занимался, было критикой *индуктивизма*. Индуктивизм гласил, что существует «индуктивная» форма рассуждения, способная вывести общие теории о будущем и обосновать их использование при наличии данных в виде отдельных наблюдений, сделанных в прошлом. Он утверждал, что существует принцип природы, *принцип индукции*, который гласит что-то вроде того, что «наблюдения, выполненные в будущем, вероятнее всего, будут похожи на наблюдения, выполненные при сходных условиях в прошлом». Были сделаны попытки сформулировать этот принцип так, чтобы он действительно позволил вывести, или доказать, общие теории из отдельных наблюдений. Все они потерпели неудачу. Попперовская критика, хотя и имевшая влияние среди ученых (особенно в связи с другой его работой, проливающей свет на методологию науки), вряд ли была оригинальной. Необоснованность индуктивизма была известна почти со времен его изобретения и уж конечно с начала XVIII века, когда его критиковал Дэвид Юм. Проблема индукции не в том, как доказать или опровергнуть принцип индукции, а скорее в том, как (полагая его ошибочным) *обосновать любой вывод о будущем, основанный на данных из прошлого*. И прежде чем вы скажете, что в этом нет необходимости...

ДЭВИД: В этом нет необходимости.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Нет, есть. Это-то как раз и раздражает в вас, последователях Поппера: вы отрицаете очевидное. Очевидно, что причина того, что в этот раз вы даже не пытаетесь прыгать с башни, частично состоит в том, что вы считаете *обоснованным* полагаться на нашу лучшую теорию гравитации и *неоправданным* полагаться на некоторые другие теории. (Конечно, под «нашей лучшей теорией гравитации» в данном случае я имею в виду нечто большее, чем общую теорию относительности. Я также подразумеваю сложный набор теорий о таких вещах, как сопротивле-

ние воздуха, человеческая психология, упругость бетона и существование спасательных устройств.)

ДЭВИД: Да, я считал бы обоснованным полагаться на такую теорию. В соответствии с методологией Поппера в таких случаях следует полагаться *на наилучшим образом подтвержденную* теорию, т. е. на ту, которая подверглась самым строгим проверкам и выдержала их, тогда как ее конкуренты были опровергнуты.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Вы сказали, что «следует» полагаться на лучшую подтвержденную теорию, но почему, объясните поточнее? По-видимому, потому что, согласно Попперу, процесс подтверждения обосновал теорию в том смысле, что вероятность получения от нее истинных предсказаний выше, чем от других теорий.

ДЭВИД: Ну, не выше, чем от *всех* других теорий, потому что, несомненно, когда-нибудь у нас появятся еще более успешные теории гравитации...

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Ладно, слушайте дальше. Давайте договоримся не использовать уловки, не относящиеся к существованию обсуждаемой нами темы. Конечно, когда-нибудь может появиться лучшая теория гравитации, но вы должны решить, стоит ли прыгать, сейчас. И имея данные, доступные сейчас, вы выбрали определенную теорию, в соответствии с которой действуете. И вы выбрали ее по критериям Поппера, потому что считаете, что только по этим критериям вероятнее всего выбрать теорию, дающую правильные предсказания.

ДЭВИД: Да.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Итак, подведем итог: вы считаете, что данные, имеющиеся у вас в настоящий момент, обосновывают предсказание, что, спрыгнув с башни, вы погибнете.

ДЭВИД: Нет, не обосновывают.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Черт побери, вы противоречите сами себе. Только что вы сказали, что это предсказание *обосновано*.

ДЭВИД: Оно доказано. Но оно доказано не данными, если под ними вы подразумеваете все эксперименты, результаты которых теория правильно предсказала в прошлом. Как всем нам известно, эти данные согласуются с бесконечным множеством теорий, включая теории, предсказывающие каждый логически возможный результат моего прыжка вниз.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Принимая это во внимание, я повторяю, что вся проблема заключается в нахождении того, чем обосновывается предсказание. Это и есть проблема индукции.

ДЭВИД: Эту проблему и решил Поппер.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я глубоко изучил труды Поппера, но это для меня новость. И каково же решение? Мне не терпится его услышать. Что дает доказательство предсказанию, если не данные?

ДЭВИД: Рассуждение.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Рассуждение?

ДЭВИД: Только рассуждение способно обосновать что-либо и, конечно, условно. Все теоретические выкладки подвержены ошибкам и так далее. Но рассуждения, тем не менее, иногда могут обосновывать теории. Для этого они и нужны.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я считаю, что это очередная ваша уловка. Вы не можете иметь в виду, что теорию обосновывают с помощью *одних лишь* рассуждений, как будто это математическая теорема. Данные определенно играют свою роль.

ДЭВИД: Конечно. Это эмпирическая теория, поэтому в соответствии с научной методологией Поппера решающие эксперименты играют основную роль при выборе между ней и ее соперниками. Когда конкуренты теории опровергнуты, выживает только одна теория.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: И как следствие этих опровержений и выживания, которые имели место в прошлом, считается доказанным практическое применение этой теории для предсказания будущего.

ДЭВИД: Полагаю, что так, хотя, мне кажется, неверно говорить «как следствие», когда мы не говорим о логической дедукции.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Так в этом-то и вопрос: *какого рода это следствие?* Я попытаюсь поймать вас на слове. Вы признаете, что теорию обосновывали как с помощью рассуждения, *так и* с помощью результатов экспериментов. Если бы результаты экспериментов были другими, рассуждение доказало бы другую теорию. Таким образом, принимаете ли вы, что в этом смысле (да, через рассуждение, но я не хочу все время повторять это условие) результаты прошлых экспериментов обосновали предсказание?

ДЭВИД: Да.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Что же в точности было в тех действительных прошлых результатах, обосновавших предсказание, в противоположность другим возможным прошлым результатам, которые точно так же могли доказать противоположное предсказание?

ДЭВИД: Действительные результаты опровергли все конкурирующие теории и подтвердили ту теорию, которая преобладает сейчас.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Хорошо. Теперь слушайте внимательно, потому что вы только что сказали нечто, ложность чего не только доказуема, но что вы сами считали ложным несколько мгновений тому назад. Вы говорите, что результаты экспериментов «опровергли все конкурирующие теории». Но вы отлично знаете, что никакой набор результатов экспериментов не может опровергнуть всех возможных конкурентов и оставить одну общую теорию. Вы сами сказали, что любой набор прошлых результатов (я цитирую) «согласуется с бесконечным множеством теорий, включая теории, предсказывающие каждый логически возможный результат моего прыжка вниз». Отсюда неумолимо следует, что предпочитаемое вами предсказание *не было* обосновано результатами экспериментов, потому что у вашей теории бесконечно много еще не опровергнутых конкурентов, которые дают противоположные предсказания.

ДЭВИД: Я рад, что по вашей просьбе я внимательно слушал, поскольку сейчас я понимаю, что, по крайней мере частично, наши разногласия вызваны недоразумением относительно терминологии. Когда Поппер говорит о «теориях-конкурентах» данной теории, он подразумевает не набор всех логически возможных конкурентов: он имеет в виду только фактических конкурентов, предложенных во время рациональной полемики. (Сюда входят и теории, «предложенные» и обдуманые про себя одним человеком во время «полемики», проходящей в его разуме.)

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Понятно. Ладно, я принимаю вашу терминологию. Но в этой связи (не думаю, что это имеет значение для наших настоящих целей, мне просто любопытно) разве не стран-

ное утверждение вы приписываете Попперу о том, что надежность теории зависит от случайности, от того, какие *другие* теории — ложные — люди предложили в прошлом, а не только от содержания рассматриваемой теории и экспериментальных данных?

ДЭВИД: Не совсем так. Даже вы, индуктивисты, говорите о...

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я *не* индуктивист!

ДЭВИД: Нет, индуктивист.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Кхм! Я повторяю, что приму вашу терминологию, если вы настаиваете. Но вы можете точно так же назвать меня дикобразом. Называть «индуктивистом» человека, который всего лишь полагает, что *необоснованность* индуктивного рассуждения ставит перед нами нерешенную философскую проблему, — настоящее извращение.

ДЭВИД: Я так не считаю. Я думаю, что ваш тезис — это как раз то, что определяет и всегда определяло индуктивиста. Но я вижу, что по крайней мере одного Поппер достиг: слово «индуктивист» стало оскорбительным! В любом случае, я объяснял, почему не так уж странно, что надежность теории зависит от того, какие ложные теории были предложены в прошлом. Даже индуктивисты говорят о надежности или ненадежности теории при наличии определенных «данных». Ну а попперовцы могли говорить о наилучшей теории, доступной для использования на практике, при наличии определенной *проблемной ситуации*. А самые важные черты проблемной ситуации — это: какие теории и объяснения конкурируют; какие аргументы выдвинуты; какие теории опровергнуты. «Подтверждение» — это не просто принятие победившей теории. Оно требует экспериментального опровержения конкурирующих теорий. Подтверждающие примеры сами по себе не имеют никакого значения.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Очень интересно. Теперь я понимаю роль, которую играют опровергнутые конкуренты теории при обосновании ее предсказаний. В рамках индуктивизма первостепенная важность принадлежала наблюдению. Человек представлял массу прошлых наблюдений, из которых предполагалось путем индуктивного рассуждения вывести теорию, и эти же наблюдения поставляли данные, которые каким-то образом обосно-

вывали теорию. В картине научного прогресса по Попперу перво-степенная важность принадлежит не наблюдениям, а проблемам, полемике, теориям и критике. Эксперименты придумывают и проводят только для разрешения споров. Следовательно, только те экспериментальные результаты, которые фактически опровергают теорию — и не просто любую теорию, а теорию, которая должна быть истинным претендентом на победу в рациональной полемике, — составляют «подтверждение». И только эти эксперименты становятся свидетельством надежности победившей теории.

ДЭВИД: Правильно. Но даже тогда «надежность», которую обеспечивает подтверждение, не абсолютна, а лишь относительна по сравнению с конкурирующими теориями. То есть мы ожидаем, что, полагаясь на подтвержденные теории, мы отберем лучшие из предложенных. Это достаточная основа для действия. Нам не нужна (да и нельзя корректным образом ее получить) уверенность в том, *насколько хорошим* будет предложенный порядок действий. Более того, мы всегда можем ошибаться, ну и что? Мы не можем использовать теории, которые еще не выдвинуты, и не можем исправить те ошибки, которые еще не видим.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Вполне согласен. Я рад, что узнал кое-что о научной методологии. Но теперь (надеюсь, вы не сочтете меня невежливым) я должен еще раз обратить ваше внимание на вопрос, который я все время задаю. Допустим, что некая теория прошла весь этот процесс. Когда-то у нее были конкуренты. Затем провели эксперименты и опровергли всех ее конкурентов. Но ее не опровергли. Таким образом, она подтвердилась. *Что же такого в том, что она подтверждена, что обосновывает нашу готовность полагаться на нее в будущем?*

ДЭВИД: Поскольку всех ее конкурентов опровергли, они уже не являются рационально состоятельными. Подтвержденная теория — это единственная рационально состоятельная теория.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Но ведь это просто переключает внимание с будущей значимости прошлого подтверждения на будущую значимость прошлого опровержения. Остается та же самая проблема. Почему конкретно экспериментально опровергнутая теория «не является рационально состоятельной»? Неужели всего

лишь одно ложное следствие означает, что вся теория не может быть истинной?

ДЭВИД: Да.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Но ясно же, что эта критика нерелевантна в отношении применимости данной теории в будущем. Вероятно, опровергнутая теория не может быть *универсально* истинной — в частности, она не могла быть истинной в прошлом, когда ее проверяли. Но она все же могла иметь много истинных следствий и, в частности, она может стать универсально истинной в будущем.

ДЭВИД: Эти термины — «истинная в прошлом» и «истинная в будущем» — вводят в заблуждение. Каждое конкретное предсказание теории либо истинно, либо ложно — это неизменно. В действительности вы имеете в виду, что, хотя опровергнутая теория строго ложна, так как она дает некоторые ложные предсказания, тем не менее все ее предсказания относительно будущего могут оказаться истинными. Иными словами, *другая теория*, которая делает те же самые предсказания относительно будущего, но другие предсказания относительно прошлого, может быть истинной.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Пусть так. Тогда вместо того, чтобы спрашивать, почему опровергнутая теория не является рационально состоятельной, мне, строго говоря, следует спросить так: почему опровержение теории также переводит в разряд несостоятельных все варианты этой теории, которые согласуются с ней в отношении будущего, — даже те варианты, которые не были опровергнуты?

ДЭВИД: Не опровержение *переводит* такие теории в разряд несостоятельных. Просто иногда они *уже* несостоятельны, например потому, что являются плохими объяснениями. И именно в таких ситуациях возможен научный прогресс. Чтобы теория победила в споре, все ее конкуренты должны быть несостоятельными; это касается и всех вариантов конкурирующих теорий, которые только были придуманы. Но не забывайте: несостоятельными должны быть только те конкурирующие теории, *которые уже придумали*. Например, в случае с гравитацией никто никогда не предлагал состоятельной теории, которая согласовывалась бы с общепринятой во всех ее проверенных предсказаниях, но отличалась бы своими предска-

ниями относительно будущих экспериментов. Я уверен, что такие теории возможны, и теория, которая последует за общепринятой сейчас, по-видимому, будет одной из них. Но если никто еще не придумал такую теорию, как можно действовать в соответствии с ней?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Что вы имеете в виду, говоря, что «никто еще не придумал такую теорию»? Я прямо сейчас могу ее придумать.

ДЭВИД: Я очень сильно в этом сомневаюсь.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Конечно, могу. Вот она: «Когда бы вы, Дэвид Дойч, не спрыгнули с большой высоты таким способом, что в соответствии с общепринятой теорией вы должны погибнуть, вы не погибнете, вы будете парить в воздухе. За исключением этого положения, общепринятая теория сохраняет универсальность». Я говорю вам, что каждая прошлая проверка вашей теории с необходимостью была и проверкой моей, поскольку все предсказания как вашей, так и моей теории относительно прошлых экспериментов идентичны. Следовательно, опровергнутые конкуренты вашей теории являются и опровергнутыми конкурентами моей теории. И, следовательно, моя новая теория подтверждена точно так же, как и ваша общепринятая. Почему моя теория может быть «несостоятельной»? Какие у нее могут быть недостатки, которых нет у вашей теории?

ДЭВИД: Да практически все недостатки, какие только описаны в книге Поппера! Ваша теория создана из общепринятой путем прибавления необъясненной модификации, что я буду парить в воздухе. Эта модификация в действительности является новой теорией, но вы не привели ни одного аргумента ни в противовес общепринятой теории моих гравитационных свойств, ни в пользу новой теории. Вы не подвергли свою новую теорию ни критике (помимо той, которую я провожу сейчас), ни экспериментальной проверке. Она не решает — и даже не претендует на решение — хоть какой-то текущей проблемы, и вы не предлагаете никакой новой интересной проблемы, которую она могла бы решить. И хуже всего то, что ваша модификация ничего не объясняет, но *портит объяснение* гравитации, лежащее в основе общепринятой теории. Именно это объяснение обосновывает то, что мы полагаемся на об-

щепринятую теорию, а не на вашу. Таким образом, по всем рациональным критериям, вместе взятым, предложенную вами модификацию можно отвергнуть.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Разве я не могу сказать то же самое о вашей теории? Ваша теория отличается от моей лишь той же самой незначительной модификацией, но в обратном направлении. Вы считаете, что я должен объяснить свою модификацию. Но почему мы находимся в неравном положении?

ДЭВИД: Потому что ваша теория, в отличие от моей, не дает объяснений своим предсказаниям.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Но если бы мою теорию предложили первой, оказалось бы, что эта ваша теория содержит необъясненную модификацию, и именно вашу теорию «отвергли бы по совокупности критериев».

ДЭВИД: А это просто неправда. Любой рационально мыслящий человек, который сравнивал бы вашу теорию с общепринятой, даже если бы ваша была предложена первой, немедленно отказался бы от вашей теории в пользу общепринятой. Ибо тот факт, что ваша теория — это необъясненная модификация другой теории, проявляется в самой ее формулировке.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Вы имеете в виду, что моя теория представлена в форме «такая-то теория универсально справедлива, за исключением такой-то ситуации», но я не объясняю, почему такое исключение должно существовать?

ДЭВИД: Вот именно.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Ага! Я думаю, что могу доказать, что здесь вы ошибаетесь (с помощью философа Нельсона Гудмена¹). Рассмотрим вариант нашего естественного языка, в котором нет глагола «падать». Вместо этого есть глагол «эпадать», который означает «падать» всегда, кроме того случая, когда его применяют по отношению к вам, в этом случае он значит «парить». Подобным образом «эпарить» значит «парить» всегда, кроме того случая, когда его применяют по отношению к вам, тогда он означает

¹ Нельсон Гудмен (1906–1998) — американский философ и логик, один из основателей современной теории номинализма. — *Прим. ред.*

«падать». На этом новом языке я мог бы выразить свою теорию как немодифицированное утверждение, что «все объекты эпадают, когда теряют опору». Но тогда общепринятая теория (которая обычном языке звучит как «все объекты падают, когда теряют опору») на новом языке должна быть модифицирована: «Все объекты эпадают, когда теряют опору, *кроме Дэвида, который эпарит*». Таким образом, то, какая из этих двух теорий модифицирована, зависит от языка, на котором они выражены, не так ли?

ДЭВИД: По форме, так. Но это тривиально. *По сути*, ваша теория содержит необъясненное утверждение, которое модифицирует общепринятую теорию. Общепринятая теория — это, *по сути*, ваша теория, лишенная необъясненной модификации. Как ни крути, это объективный факт, который не зависит от языка.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Не понимаю почему. Вы сами воспользовались *формой* моей теории, чтобы указать на «излишнюю модификацию». Вы сказали, что она «проявляется» в виде дополнительного условия в самой формулировке теории — на нашем обычном языке. Но после перевода теории на мой язык модификация не проявляется; напротив, явная модификация появляется в самой формулировке общепринятой теории.

ДЭВИД: Это так. Но не все языки равны. *Языки являются теориями*. В своем словарном запасе и грамматике они содержат значимые суждения о мире. Всякий раз, когда мы формулируем теорию, лишь небольшая часть ее содержания выражается явно: остальное передает язык. Как и все теории, языки изобретаются и подвергаются отбору по их способности решать определенные проблемы. В данном случае проблемы состоят в выражении других теорий в формах, в которых их удобно применять, сравнивать и критиковать. Один из важнейших способов, с помощью которого языки решают такие проблемы, — это неявное воплощение теорий, которые непротиворечивы и принимаются как нечто само собой разумеющееся, при одновременном лаконичном и ясном выражении того, что нужно сформулировать и аргументировать.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Это я принимаю.

ДЭВИД: Поэтому не случайно то, что язык реализует концептуальную основу с помощью одного набора идей, а не другого. Он

отражает текущее состояние проблемной ситуации говорящего. Именно поэтому форма вашей теории *на естественном языке* — это хорошее указание на ее статус *по отношению* к текущей проблемной ситуации — решает ли она задачи или усложняет их. Но меня не устраивает не форма вашей теории. Мне не нравится ее суть. Меня не устраивает то, что ваша теория ничего не решает, а только усложняет проблемную ситуацию. Этот недостаток явно проявляется при выражении теории на естественном языке и неявно при ее выражении на вашем языке. Но от этого он не становится менее серьезным. С тем же успехом я мог бы выразить свое недовольство на быденном языке, на научном жаргоне, на предложенном вами языке или на любом языке, способном выразить нашу с вами беседу. (Поппер, кстати, считает, что всегда следует стремиться вести беседу, используя терминологию оппонента.)

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Возможно, в этом есть смысл. Но не могли бы вы уточнить, каким образом моя теория усложняет проблемную ситуацию и почему это должно быть очевидно даже человеку, для которого мой гипотетический язык является родным?

ДЭВИД: Ваша теория утверждает, что существует физическая *аномалия*, которой нет в соответствии с общепринятой теорией. Аномалией является мой предполагаемый иммунитет к притяжению. Безусловно, вы можете изобрести язык, который выражает эту аномалию неявно, так что в утверждениях вашей теории гравитации вам не придется ссылаться на нее явно. Но ссылаться на нее вам придется. Роза пахнет розой, хоть розой назови ее, хоть нет¹. Допустим, что придуманный вами язык — ваш родной язык, да пусть даже родной язык всех людей, и все они верят, что придуманная вами теория гравитации истинна. Допустим, что все мы считаем ее доказанной и настолько естественной, что используем одно и то же слово «эпадать» для описания того, что произошло бы с вами или со мной, если бы мы спрыгнули с башни. Ничто из сказанного ни в малейшей степени не меняет очевидную

¹ Фраза из трагедии Шекспира «Ромео и Джульетта» (пер. Т. Щепкиной-Куперник). — *Прим. ред.*

разницу между моей реакцией на притяжение и реакцией на него любого другого человека. Если бы вы прыгнули с башни, падая вниз, вы, возможно, позавидовали бы мне. Вы могли бы подумать: «Если бы я только мог реагировать на притяжение так же, как Дэвид, а не так, как реагирую я, абсолютно по-другому!»

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Это правда. Только из-за того, что одно и то же слово «эпадение» описывает как вашу реакцию на притяжение, так и мою, я бы не подумал, что действительная реакция будет одинаковой. И наоборот, свободно говоря на этом предполагаемом языке, я бы очень хорошо знал, что «эпадение» физически будет разным для меня и для вас, так же как человек, говорящий на нашем обычном языке, знает, что слово «напиться» означает совершенно разные вещи в отношении человека, который испытывал жажду, и для пьяницы. Я бы не подумал, что «если это случится с Дэвидом, он будет эпадать так же, как я». Я бы подумал: «Если бы это произошло с Дэвидом, он бы эпадал и остался в живых, а если я эпадаю, то я погибаю».

ДЭВИД: Более того, несмотря на вашу уверенность в том, что я буду парить в воздухе, *вы не понимаете, почему это произойдет*. Знать — не значит понимать. Вам было бы любопытно узнать объяснение этой «хорошо известной» аномалии. Это касается и остальных людей. Физики со всего мира съехались бы, чтобы изучить мои аномальные гравитационные свойства. На самом деле, если бы ваш язык действительно был общепринятым и все считали бы вашу теорию действительно доказанной, научный мир, вероятно, с нетерпением ждал бы моего рождения, и ученые становились бы в очередь, чтобы получить привилегию выбросить меня из самолета! Но, конечно, само исходное предположение, а именно то, что ваша теория считается доказанной и выражается на общепринятом языке, нелепо. Теория это или не теория, язык или не язык, но в действительности ни один рационально мыслящий человек не примет возможность такой явной физической аномалии при отсутствии очень веского объяснения в ее пользу. Следовательно, так же, как «по совокупности» отвергнут вашу теорию, отвергнут и ваш язык, поскольку это просто другой способ формулировки вашей теории.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: А может, все-таки здесь скрывается решение проблемы индукции? Давайте посмотрим. Что меняет это наше новое понимание роли языка? Мое рассуждение было основано на видимой симметрии между вашей и моей позициями. Мы оба приняли теории, которые согласовывались с существующими результатами экспериментов и противники которых (кроме друг друга) были опровергнуты. Вы сказали, что я нерационально мыслю, потому что моя теория содержит необъясненное утверждение, но я возразил, сказав, что на другом языке такое утверждение будет содержать ваша теория, поэтому симметрия сохранилась. Но теперь вы сказали, что языки — это тоже теории и что сочетание предложенного мной языка с теорией утверждает существование объективной физической аномалии, в отличие от того, что утверждает сочетание естественного языка с общепринятой теорией. Здесь нарушается симметрия между нашими позициями и разбирается приводимый мной аргумент.

ДЭВИД: Это действительно так.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я попробую еще чуть-чуть прояснить это. Вы действительно называете принципом рациональности то, что теория, утверждающая существование объективной физической аномалии, при прочих равных условиях имеет меньше шансов дать истинные предсказания, чем теория, которая этого не утверждает?

ДЭВИД: Не совсем так. Теории, постулирующие аномалии *без их объяснения*, имеют меньше шансов, *чем их конкуренты*, дать истинные предсказания. С более общей позиции принцип рациональности заключается как раз в том, что теории постулируются для решения проблем. Значит, *любой* постулат, не решающий ни одной проблемы, следует отвергнуть. Это необходимо потому, что хорошее объяснение, модифицированное таким постулатом, становится плохим объяснением.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Теперь, когда я понимаю, что есть объективная разница между теориями, дающими необъясненные предсказания, и теориями, которые без этого обходятся, я должен признать, что это выглядит многообещающе для решения проблемы индукции. Похоже, вы открыли способ обоснования того, что в бу-

душем вы станете полагаться на теорию гравитации при наличии только прошлых проблемных ситуаций (включая прошлые наблюдательные данные) и разницы между хорошим объяснением и плохим. Вам не придется делать каких-либо допущений вроде «будущее, вероятно, будет похоже на прошлое».

ДЭВИД: Это открыл не я.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Но, по-моему, и не Поппер. В первых, Поппер не думал, что научные теории вообще можно обосновать. Вы сделали четкое разграничение между теориями, обосновываемыми с помощью наблюдений (как считают индуктивисты), и теориями, обосновываемыми с помощью рассуждений. Но Поппер такого различия не делал. А в отношении проблемы индукции он действительно говорил, что, хотя будущие предсказания теории невозможно обосновать, мы должны действовать так, словно они доказаны!

ДЭВИД: Я не думаю, что он говорил именно так. А если и говорил, то на самом деле не имел это в виду.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: *Как это?*

ДЭВИД: Или если имел это в виду, то ошибался. Почему это вас так расстраивает? Человек может открыть новую теорию (в данном случае попперовскую эпистемологию), но вместе с тем продолжать придерживаться убеждений, ей противоречащих. Чем глубже теория, тем более вероятен такой исход.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Вы заявляете, что понимаете теорию Поппера лучше самого Поппера?

ДЭВИД: Я не знаю, да и мне нет до этого дела. Почтение, которое философы оказывают историческим источникам идей, весьма извращенно, знаете ли. Мы, ученые, не считаем, что человек, открывший некую теорию, обладает каким-то особым ее пониманием. Напротив, мы редко обращаемся к оригинальным источникам. Они неизменно устаревают по мере того, как проблемные ситуации, вызвавшие их появление, трансформируются под влиянием новых открытий. Например, большинство ученых в области теории относительности понимают теорию Эйнштейна лучше, чем понимал он сам. Основатели квантовой теории привели в полнейший беспорядок понимание своей собственной теории. Такие ненадежные

истоки вовсе не являются неожиданностью, и, встав на плечи гигантов, возможно, не так уж и трудно увидеть дальше, чем видели они¹. Но в любом случае гораздо интереснее спорить о том, что есть истина, а не о том, что думал или не думал какой-то конкретный мыслитель, каким бы великим он ни был.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Хорошо, я согласен. Но одну минутку, я думаю, что поторопился, сказав, что вы не постулируете никакой разновидности принципа индукции. Послушайте: вы доказали, что некая теория о будущем (общепринятая теория гравитации) более надежна, чем другая теория (предложенная мной), даже несмотря на то что обе они согласуются со всеми наблюдениями, известными в настоящий момент. Поскольку общепринятая теория применима как к будущему, так и к прошлому, вы доказали высказывание о том, что в отношении гравитации *будущее похоже на прошлое*. И то же самое будет верно всякий раз, когда вы доказываете надежность теории на основе того, что она подтверждена. Далее, чтобы перейти от «подтвержденной» к «надежной», вы исследовали объяснительную силу теорий. Таким образом, вы показали: то, что мы могли бы назвать «принципом поиска лучших объяснений», в совокупности с некоторыми наблюдениями — да, и рассуждениями, — *подразумевает*, что будущее во многих отношениях будет похоже на прошлое. А это и есть принцип индукции! Если ваш «объяснительный принцип» влечет за собой принцип индукции, значит, логически это и *есть* принцип индукции. Так что индуктивизм все-таки верен, а принцип индукции действительно следует постулировать, явно или неявно, прежде чем мы сможем предсказать будущее.

ДЭВИД: Ну, приехали! Этот индуктивизм — действительно страшная болезнь. После ремиссии, длившейся несколько секунд, болезнь обострилась пуще прежнего.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Обосновывает ли попперовский рационализм *переход на личности* вместо разумных аргументов? Просто интересно.

¹ Автор обыгрывает знаменитую фразу Исаака Ньютона: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов». — Прим. ред.

ДЭВИД: Прошу прощения. Позвольте мне обратиться непосредственно к сути вашего высказывания. Да, я обосновал утверждение о будущем. Вы говорите, что это подразумевает, что «будущее похоже на прошлое». Ну, если не задумываться о сути, да, так как *любая* теория о будущем утверждала бы, что в некотором смысле будущее похоже на прошлое. Но умозаключение о том, что будущее похоже на прошлое, не есть искомый принцип индукции, поскольку из него мы не можем ни вывести, ни обосновать ни одну теорию или предсказание относительно будущего. Например, мы не смогли бы им воспользоваться, чтобы отличить вашу теорию гравитации от общепринятой, так как и та и другая по-своему утверждают, что будущее похоже на прошлое.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Разве мы не можем вывести из «объяснительного принципа» некую разновидность принципа индукции, которую *можно было бы* использовать для отбора теорий? Как насчет такого: «Если необъясненная аномалия не имела места в прошлом, то она маловероятна и в будущем»?

ДЭВИД: Нет. Наше обоснование не зависит от того, имела ли место в прошлом какая-то конкретная аномалия. Оно связано с тем, имеется ли объяснение существованию этой аномалии.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Хорошо. Тогда я сформулирую точнее: «Если в настоящее время не существует объяснительной теории, предсказывающей, что конкретная аномалия может случиться в будущем, то маловероятно, что она будет иметь место».

ДЭВИД: Это вполне может быть верным. Лично я согласен с этим. Однако это не разновидность того, что «будущее, вероятно, будет похоже на прошлое». Более того, пытаясь максимально приблизить этот принцип к такому виду, вы ограничили его ситуациями «в настоящем», «в будущем», а также ситуацией «аномалия». Но он столь же верен и без этих уточнений. Это просто общее утверждение относительно эффективности рассуждения. Короче, если не существует рассуждения в пользу какого-то постулата, значит, этот постулат ненадежен. В прошлом, настоящем и будущем. С аномалией или без. Точка.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Понятно.

ДЭВИД: Ничто в концепциях «рационального рассуждения» или «объяснения» не связывает будущее с прошлым каким-либо

особым образом. Ничего не постулируется относительно «похожести» чего-либо на что-либо. И даже если бы это было сделано, это бы не помогло. В обыденном смысле, где само понятие «объяснения» предполагает, что будущее «похоже на прошлое», это тем не менее не подразумевает ничего конкретного относительно будущего, а потому это не принцип индукции. Принципа индукции не существует. Не существует и процесса индукции. Никто никогда не пользуется ими или чем-то похожим. И больше не существует проблемы индукции. Теперь это ясно?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Да. Простите, мне нужно несколько минут, чтобы уточнить свой взгляд на мир.

ДЭВИД: Вам в этом упражнении, я полагаю, поможет более подробное рассмотрение вашей альтернативной «теории гравитации».

КРИПТОИНДУКТИВИСТ:...

ДЭВИД: Как мы уже договорились, ваша теория объективно состоит из теории гравитации (общепринятой теории), модифицированной необъясненным предсказанием относительно меня. Оно гласит, что, потеряв опору, я буду парить. «Потеря опоры» означает «отсутствие воздействия на меня силы, направленной вверх», таким образом, предположение заключается в том, что я не буду подвержен «силе» гравитации, которая в противном случае потянула бы меня вниз. Но в соответствии с общей теорией относительности гравитация — это не сила, а проявление кривизны пространства–времени. Эта кривизна объясняет, почему предметы, не имеющие опоры, как я и Земля, со временем приближаются друг к другу. Следовательно, в свете современной физики ваша теория, по-видимому, утверждает, что на меня *воздействует* направленная вверх сила, которая необходима, чтобы удерживать меня на постоянном расстоянии от Земли. Но откуда берется эта сила, и как она себя ведет? Например, что такое «постоянное расстояние»? Если бы Земля начала двигаться вниз, отреагировал бы я мгновенно, чтобы остаться на той же высоте (что допустило бы в нарушение другого принципа относительности связь более быструю, чем скорость света), или информация о том, где теперь находится Земля, сначала должна дойти до меня со скоростью света? Если так, то что переносит

сит эту информацию? Если это новый вид волн, испускаемых Землей, то каким уравнениям он подчиняется? Переносит ли он энергию? Каково его квантово-механическое поведение? Или я особым образом отреагирую на существующие волны, например, световые? В этом случае исчезнет ли аномалия, если между мной и Землей поместить светонепроницаемую перегородку? Да и разве Земля большей частью не светонепроницаема? И где начинается «Земля»: что определяет поверхность, над которой я должен парить?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ:...

ДЭВИД: Коли на то пошло, то чем определяется, где начинаюсь я? Если я буду держать тяжелый предмет, он тоже будет парить? Если так, то самолет, в котором я лечу, может выключить двигатели, и аварии не произойдет! А что такое «держать»? Упадет ли самолет, если я вдруг отпущу ручки кресла? А если это воздействие не распространяется на вещи, которые я держу, то как быть с моей одеждой? Она потянет меня вниз и в конце концов погубит меня, если я спрыгну с башни? А как насчет последнего обеда?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ:...

ДЭВИД: Я мог бы продолжать *до бесконечности*. Суть в том, что, чем дольше мы рассматриваем следствия предложенной вами аномалии, тем больше мы находим вопросов, на которые нет ответов. И дело даже не в том, что ваша теория неполна. Эти вопросы — *дилеммы*. Как бы на них ни ответили, они создают новые проблемы и тем самым портят удовлетворительные объяснения других явлений.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ:...

ДЭВИД: Таким образом, ваш дополнительный постулат является не просто излишним, он положительно плох. В общем случае извращенные, но не опровергнутые теории, которые могут быть предложены без подготовки, распадаются на две категории. Одна — это теории, которые постулируют ненаблюдаемые сущности, такие как частицы, невзаимодействующие с любой другой материей. Их можно отбросить за то, что они ничего не решают («бритва Оккама», если хотите). А есть теории, подобные вашей, которые предсказывают необъясненные наблюдаемые аномалии. Их можно отвергнуть за то, что они ничего не решают и портят су-

существующие решения. Поспешу добавить: дело не в том, что они конфликтуют с существующими объяснениями. Они лишают объяснительной силы существующие теории, утверждая, что предсказания этих теорий имеют исключения, но не объясняя, почему. Нельзя просто сказать: «Геометрия пространства-времени сводит вместе объекты, лишенные опоры, *если только* одним из них не является Дэвид Дойч, в этом случае она никак на них не воздействует». И неважно, объясняется ли гравитация кривизной пространства-времени или чем-то другим. Просто сравните свою теорию с совершенно законным утверждением, что перо будет парить, медленно спускаясь вниз, потому что к нему действительно будет приложена достаточная направленная вверх сила со стороны воздуха. Это утверждение — следствие нашей существующей объяснительной теории о том, что такое воздух, поэтому, в отличие от вашей теории, оно не вызывает появления новой проблемы.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я понимаю это. Вы не могли бы помочь мне привести в порядок мой взгляд на мир?

ДЭВИД: Вы читали мою книгу «Структура реальности»?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Я собираюсь это сделать, но сейчас я прошу помощи в разрешении весьма специфического затруднения.

ДЭВИД: Я вас слушаю.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Сложность в следующем. Когда я вспоминаю наш с вами разговор, я полностью убежден, что ваше предсказание того, что произойдет, если вы или я спрыгнем с башни, не было выведено из какой-либо индуктивной гипотезы типа того, что «будущее похоже на прошлое». Но возвращаясь и осмысливая общую логику ситуации, я боюсь, что по-прежнему не понимаю, как это возможно. Рассмотрим исходные материалы для доказательства. Первоначально я допустил, что прошлые наблюдения и дедуктивная логика — наши единственные исходные материалы. Затем я признал, что важна и текущая проблемная ситуация, потому что нам необходимо доказать только то, что наша теория более надежна по сравнению с ее существующими конкурентами. А потом мне пришлось принять во внимание, что обширные классы теорий можно исключить с помощью одних лишь рассуждений, потому

что они представляют собой плохие объяснения, и что принципы рациональности можно включить в наши исходные материалы. Чего я не могу понять, так это того, как из этого сырья — *прошлых наблюдений, существующей* проблемной ситуации и *вечных* принципов логики и рациональности, где ничто не обосновывает выводов о будущем на основании прошлого, — появляется обоснование будущих предсказаний. Кажется, что здесь не хватает логического звена. Мы где-то делаем скрытое допущение?

ДЭВИД: Нет, с логикой все в порядке. То, что вы называете «сырьем», на самом деле уже содержит утверждения о будущем. Лучшие из существующих теорий, от которых нельзя легко отказаться, потому что они являются решениями проблем, содержат предсказания относительно будущего. И эти предсказания нельзя отделить от остального содержания теорий, как вы пытались сделать, потому что в этом случае будет нарушена объяснительная сила этих теорий. Следовательно, любая новая теория, которую мы предлагаем, должна быть *либо* согласована с существующими теориями, из которых вытекают определенные следствия относительно того, что может говорить о будущем новая теория, *либо* она должна противоречить некоторым существующим теориям, но решать вследствие этого проблемы, давая альтернативные объяснения, которые вновь ограничивают то, что она может сказать о будущем.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Таким образом, у нас нет никакого принципа рассуждения, который говорит, что будущее будет похоже на прошлое, но у нас есть фактические теории, которые это утверждают. А есть ли у нас фактические теории, которые неявно содержат ограниченную разновидность индуктивного принципа?

ДЭВИД: Нет. Наши теории просто утверждают что-то относительно будущего. При поверхностном взгляде любая теория о будущем подразумевает, что оно каким-то образом будет «похоже на прошлое». Но мы можем узнать, в каком отношении, по утверждению теории, будущее будет похоже на прошлое, только тогда, когда у нас есть эта теория. Точно так же вы могли бы сказать, что поскольку наши теории считают, что определенные черты реальности одинаковы во всем *космическом пространстве*, они неявно содержат «пространственный принцип индукции» относи-

тельно того, что «ближнее похоже на дальнее». Мне хотелось бы отметить, что в любом практическом смысле слова «похожий» наши современные теории говорят, что будущее *не* будет похоже на прошлое. Взять, например, космологическое Большое сжатие (коллапс вселенной в одну точку) — это событие, которое предсказывают некоторые космологи, но которое во всех физических смыслах настолько маловероятно в настоящее время, насколько это только возможно. Сами законы, исходя из которых мы его предсказываем, перестанут тогда действовать.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Вы убедили меня и в этом. Попробую использовать последний аргумент. Мы видели, что будущие предсказания можно обосновать, апеллируя к принципам рациональности. А что обосновывает их? Они же как-никак не являются чисто логическими истинами. Поэтому возможны два варианта: либо они не обоснованы, и тогда выведенные из них следствия тоже не обоснованы, либо они обоснованы с помощью каких-то еще неизвестных средств. В любом случае здесь недостает обоснованности. Я уже больше не подозреваю тут наличия скрытой проблемы индукции. Тем не менее, уничтожив проблему индукции, не открыли ли мы под ней другую фундаментальную проблему, которая тоже связана с недостатком обоснований?

ДЭВИД: Что обосновывает принципы рациональности? Как обычно, рассуждения. Чем, например, обосновывается то, что мы полагаемся на законы *дедукции*, кроме того факта, что любая попытка обосновать их логически должна вести либо к порочному кругу, либо к бесконечной регрессии? Они обоснованы, потому что заменой законов дедукции невозможно улучшить ни одно объяснение.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: По-моему, это не слишком надежная основа для чистой логики.

ДЭВИД: Она и не является абсолютно надежной. И нам не следует ожидать этого от нее, поскольку логическое рассуждение — процесс не менее физический, чем рассуждение научное, а потому ему присуща ошибочность. Законы логики не самоочевидны. Есть люди, «математические интуитивисты», которые оспаривают традиционные законы дедукции (логические «правила вывода»). Я вер-

нусь к их странному мировоззрению в главе 10 «Структуры реальности». Невозможно *доказать*, что они ошибаются, но я приведу *доводы* в пользу того, что они ошибаются, и я уверен, что мои рассуждения убедительно обосновывают этот вывод.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Значит, вы считаете, что «проблемы дедукции» не существует?

ДЭВИД: Нет. Я не думаю, что может возникнуть какая-либо проблема при любых обычных способах обоснования выводов в науке, философии или математике. Однако, интересен тот *факт*, что физическая вселенная допускает процессы, создающие знание о ней самой и о других вещах. Нам разумно попытаться объяснить этот факт точно так же, как объясняем другие физические факты, то есть через объяснительные теории. В главе 6 «Структуры реальности» вы видели, что я считаю принцип Тьюринга подходящей в данном случае теорией. Он гласит, что можно построить генератор виртуальной реальности, репертуар которого содержит каждую физически возможную среду. Если принцип Тьюринга является физическим законом, как я полагаю, значит, мы не должны удивляться, обнаружив, что можем создавать точные теории о реальности, потому что это просто виртуальная реальность в действии. Точно так же, как факт возможности паровых двигателей является непосредственным проявлением принципов термодинамики, так и тот факт, что человеческий разум способен создавать знание, — это непосредственное проявление принципа Тьюринга.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Но откуда нам известно об *истинности* принципа Тьюринга?

ДЭВИД: Конечно, это нам неизвестно... А вы боитесь, что если мы не сможем доказать принцип Тьюринга, то опять потеряем обоснование того, что полагаемся на научные предсказания, не так ли?

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Э, да.

ДЭВИД: Но мы уже перешли к совсем другому вопросу! Сейчас мы обсуждаем очевидный *факт* о физической реальности, а именно то, что она может давать надежные предсказания о самой себе. Мы пытаемся объяснить этот факт, чтобы поместить его в те же рамки, в которых находятся все остальные известные нам факты. Я предполагаю, что, возможно, здесь действует определенный закон физики.

Но если я ошибся, на самом деле, даже если бы мы совсем не могли объяснить это замечательное свойство реальности, это ни на йоту не повлияло бы на обоснование любой научной теории. Поскольку это ни на йоту не ухудшило бы объяснения такой теории.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: У меня закончились аргументы. Мой интеллект убежден. Тем не менее, я должен признать, что все еще чувствую нечто, что могу описать только как «эмоциональное сомнение».

ДЭВИД: Возможно, вам поможет мое последнее замечание, не о тех специфических аргументах, о которых вы говорили, а о неправильном представлении, лежащем в основе многих из них. Вы знаете, что это неправильное представление, но, возможно, вы еще не включили в свое мировоззрение следствия этих идей. Может быть, именно это и является источником вашего «эмоционального сомнения».

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Продолжайте.

ДЭВИД: Неправильное представление о самой природе рассуждения и объяснения. Вы, кажется, допускаете, что рассуждения и объяснения — например, те, которые обосновывают действия в соответствии с конкретной теорией, имеют форму математических доказательств, идущих от допущений к выводам. Вы ищете «сырье» (аксиомы), из которого выводятся заключения (теоремы). Логическая структура такого типа, связанная с каждым удачным рассуждением или объяснением, действительно существует. Но процесс доказательства не начинается с «аксиом» и не заканчивается «выводом». Он скорее начинается где-то посередине с варианта, изобилующего несоответствиями, пробелами, неопределенностями и посторонними выкладками. Все эти недостатки подвергаются критике. Делаются попытки заменить ошибочные теории. Теории, которые критикуют и заменяют, обычно содержат некоторые *аксиомы*. Поэтому ошибочно полагать, будто доказательство начинается или обосновывается теориями, которые в конечном итоге служат его «аксиомами», или что эти теории обосновывают доказательство. Доказательство заканчивается — условно — когда кажется, что оно показало удовлетворительность связанного с ним объяснения. Принятые «акси-

омы» не являются окончательными и неоспоримыми убеждениями. Это просто временные объяснительные теории.

КРИПТОИНДУКТИВИСТ: Понятно. Аргументация — это нечто, отличное от дедукции и несуществующей индукции. Оно ни на чем не основывается и ничем не оправдывается. Да этого и не *нужно*, потому что его цель — решать проблемы, показать, что данное объяснение решает данную проблему.

ДЭВИД: Добро пожаловать в нашу компанию.

ЭКС-ИНДУКТИВИСТ: Все эти годы я чувствовал себя так уверенно в своей великой Проблеме. Я чувствовал себя настолько выше и древних индуктивистов, и выскочки Поппера. И все это время я сам был крипто-индуктивистом, даже не подозревая этого! Индуктивизм — действительно болезнь. Он ослепляет.

ДЭВИД: Не судите себя слишком строго. Теперь вы излечились. Если бы только всех остальных больных можно было излечить столь же легко с помощью нехитрой аргументации!

ЭКС-ИНДУКТИВИСТ: Но как я мог быть столь слеп? Только подумать, что я как-то номинировал Поппера на премию Деррида за нелепые утверждения, в то время как он решил проблему индукции! *O tea culpa!*¹ Спаси нас Бог, ибо мы сожгли святого! Мне ужасно стыдно. Я не вижу иного выхода, кроме как спрыгнуть с башни.

ДЭВИД: Я уверен, что в этом нет необходимости. Мы, последователи Поппера, считаем, что вместо нас должны умирать наши теории. Просто выбросите с башни *индуктивизм*.

ЭКС-ИНДУКТИВИСТ: Так я и сделаю!

Терминология

Криптоиндуктивист — человек, который считает, что необоснованность индуктивного рассуждения поднимает серьезную философскую проблему, а именно — как обосновать то, что мы полагаемся на научные теории.

Следующая, четвертая нить, — теория эволюции, которая отвечает на вопрос «что такое жизнь?»

¹ Моя вина! (лат.) — Прим. ред.

Важность жизни

С древнейших времен почти до XIX века считалось доказанным, что требуется какая-то особая оживляющая сила или оживляющий фактор, чтобы заставить вещество, из которого состоят живые организмы, вести себя столь отлично от другого вещества. В действительности это означало, что во вселенной существует два вида материи: *живая* материя и *неживая* материя, с фундаментально различными физическими свойствами. Рассмотрим живой организм, например, медведя. Фотография медведя в некоторых отношениях похожа на живого медведя. Точно так же на него похожи некоторые неживые объекты, например, мертвый медведь или, в весьма ограниченной степени, созвездие Большой Медведицы. Но только живая материя может погнаться за вами в лесу и, сколько бы вы ни метались среди деревьев, поймать вас и разорвать на куски. Неживые предметы никогда не делают ничего столь целенаправленного — по крайней мере, так думали люди древности. Они же никогда не видели самонаводящихся ракет.

Для Аристотеля и других древних философов наиболее заметным качеством живой материи была ее способность инициировать движение. Они полагали, что, когда неживая материя, например камень, пришла в состояние покоя, она никогда не придет в движение вновь, пока кто-нибудь не окажет на нее воздействие. Но живая материя, например, медведь в состоянии зимней спячки, может находиться в состоянии покоя, а затем начать двигаться без оказываемого на него воздействия. Благодаря современной науке мы легко можем обнаружить слабые места таких обобщений, и даже

сама идея «приведения в движение» теперь кажется понятой ошибочно: мы знаем, что медведь просыпается из-за электрохимических процессов, происходящих в его теле. Они могут быть вызваны внешними «воздействиями», например, повышением температуры, или стать результатом работы внутренних биологических «часов», которые задействуют медленные химические реакции для определения времени. Химические реакции — не более чем движение атомов, поэтому медведь никогда не находится в состоянии полного покоя. С другой стороны, ядро урана, которое живым определенно не является, может оставаться неизменным в течение миллиардов лет, а потом, без какого бы то ни было влияния, резко и внезапно распадается. Таким образом, первоначальное содержание идеи Аристотеля сегодня утратило смысл. Однако он верно уловил одну важную вещь, которую большинство современных мыслителей понимают неправильно. Пытаясь связать жизнь с какой-нибудь базовой физической концепцией (хотя и ошибочно выбрав на эту роль движение), он признал, что жизнь — это фундаментальное явление природы.

Явление «фундаментально», когда от его понимания в достаточно глубокой мере зависит понимание мира. Мнения относительно того, какие аспекты мира заслуживают понимания, а, следовательно, и относительно того, что является глубоким и фундаментальным, безусловно, различны. Одни говорят, что любовь — самое фундаментальное явление в мире. Другие считают, что, когда человек выучит наизусть определенные священные тексты, он поймет все, что стоит понять. Понимание, о котором говорю я, выражается в законах физики, в принципах логики и философии. «Более глубокое» понимание — это такое, которое обладает большей общностью, включает больше связей между, на первый взгляд, различными истинами, объясняет больше с меньшим количеством необъясненных допущений. Самые фундаментальные явления входят в объяснение многих других явлений, но сами они объясняются лишь с помощью основных законов и принципов.

Не все фундаментальные явления вызывают значительные физические эффекты. Гравитация их вызывает и в самом деле является фундаментальным явлением. Но непосредственные проявле-

ния квантовой интерференции, вроде теневых картин, описанных в главе 2, невелики. Их довольно сложно уверенно обнаружить. Тем не менее мы видели, что квантовая интерференция — фундаментальное явление. Только поняв его, мы можем понять фундаментальный факт, относящийся к физической реальности, — существование параллельных вселенных.

Для Аристотеля было очевидно, что жизнь теоретически фундаментальна и вызывает значительные физические эффекты. Как мы увидим, он был прав. Но это было очевидно ему по совершенно ошибочным причинам, а именно — из-за предполагаемых особых механических свойств живой материи и доминирующей роли жизненных процессов на земной поверхности. Аристотель полагал, что Вселенная состоит главным образом из того, что мы сейчас называем биосферой (область, содержащая жизнь) Земли, с немногочисленными дополнительными деталями — небесными сферами и внутренней частью Земли, добавленными сверху и снизу. Если в вашем Космосе биосфера Земли — основная составляющая, вы, естественно, будете думать, что деревья и животные по меньшей мере так же важны, как горы и звезды в великой схеме вещей, особенно если вы плохо знаете физику или биологию. Современная наука пришла к почти противоположному заключению. Коперниканская революция поставила Землю в зависимость от центрального неживого Солнца. Последующие открытия в физике и астрономии показали не только, что Вселенная огромна по сравнению с Землей, но и то, что она с огромной точностью описывается всеобъемлющими законами, которые вообще не упоминают о жизни. Теория эволюции Чарльза Дарвина объяснила происхождение жизни на языке, не требующем знаний в области специфической физики, и с тех пор мы открыли множество тонких жизненных механизмов, но ни в одном из них также не обнаружили особой физики.

Эти захватывающие успехи науки, и особенно огромная общность ньютоновской механики и последующих физических учений, в значительной мере способствовали росту притягательности редуccionизма. Хотя было обнаружено, что вера в откровение несовместима с рационализмом (который требует открытости для критики), многие люди все же продолжали искать первичную основу

вещей, в которую они могли бы верить. Если у них еще и не было редуктивной «теории всего», в которую они могли бы верить, то они по крайней мере стремились к ней. Считалось само собой разумеющимся, что редукционистская иерархия наук, основанная на субатомной физике, — это неотъемлемая часть научного мировоззрения, и потому критиковать ее могут только псевдоученые и те, кто восставал против самой науки. Таким образом, ко времени изучения мной биологии в школе статус этого предмета изменился на противоположный тому, который Аристотель считал очевидным. Жизнь вовсе перестали считать фундаментальной. Само понятие «изучение природы» в смысле изучения биологии стало анахронизмом. С фундаментальной точки зрения, природа — это физика. Я лишь немного утрирую ситуацию, если охарактеризую господствовавший в то время взгляд следующим образом. У физики есть ответвление — химия, и она изучает взаимодействие атомов. У химии есть ответвление — органическая химия, изучающая свойства соединений углерода. Органическая химия, в свою очередь, тоже имеет ответвление — биологию, изучающую химические процессы, которые мы называем жизнью. И это отдаленное ответвление фундаментального предмета интересует нас лишь потому, что мы сами оказались таким процессом. Важность физики, напротив, считалась по праву самоочевидной, так как вся Вселенная, включая жизнь, подчиняется ее принципам.

Мне с одноклассниками приходилось учить наизусть множество «характеристик живого». Все они были просто описательными и мало касались фундаментальных концепций. Одной из них, очевидно, было *движение* — неясное эхо идеи Аристотеля, — однако среди них были и *дыхание*, и *выделение*. Также присутствовали *размножение*, *рост* и незабвенно названная *раздражимость*, которая значит, что если вы окажете воздействие на что-либо, то оно ответит. Этим предполагаемым характеристикам не хватало ясности и глубины, более того, точностью они тоже не отличались. Как сказал бы нам д-р Джонсон, каждый реальный объект обладает «раздражимостью». С другой стороны, вирусы не дышат, не растут, не выделяют и не движутся (пока на них не окажут воздействие), но они живые. Бесплодные люди не размножаются, однако они тоже живые.

Причина, по которой ни во взглядах Аристотеля, ни в том, что сохранилось в моих школьных учебниках, не было зафиксировано даже хорошего таксономического различия между живыми и неживыми предметами, не говоря уже о чем-то более глубоком, в том, что и Аристотель, и учебники упустили главное в том, что такое живые предметы (эта ошибка в большей степени прощательна Аристотелю, потому что в его времена ни у кого не было лучших знаний). Современная биология не пытается определить жизнь с помощью некоторого характеристического физического свойства или вещества — некоей живой «сущности», — которой наделена только живая материя. Мы больше не ждем, что такая сущность обнаружится, потому что знаем теперь, что «живая материя», материя в форме живых организмов, — это не основа жизни. Она всего лишь одно из проявлений жизни, а основа жизни — молекулярная. Факт состоит в том, что существуют молекулы, которые побуждают определенные среды к созданию копий этих молекул.

Такие молекулы называются *репликаторами*. В более общем смысле репликатор — это любая сущность, которая побуждает определенные среды ее копировать. Не все репликаторы биологические, и не все репликаторы являются молекулами. Самокопирующаяся компьютерная программа (например, компьютерный вирус) — это тоже репликатор. Хорошая шутка — это еще один репликатор, поскольку она заставляет слушателей пересказать себя другим слушателям. Ричард Докинз придумал термин *мем* для репликаторов, которые представляют собой человеческие идеи, например, шутки. Однако вся жизнь на Земле основана на репликаторах-молекулах. Они называются *генами*, а биология — это изучение происхождения, структуры и деятельности генов, а также их влияния на другую материю. В большинстве организмов ген состоит из последовательности небольших молекул (существует четыре различных вида таких молекул), соединенных в цепочку. Названия составляющих молекул (аденин, цитозин, гуанин и тимин) обычно сокращают до А, С, G и Т. Сокращенное химическое название цепочки из любого количества таких молекул, расположенных в любом порядке, — ДНК.

Гены по существу являются компьютерными программами, выраженными в виде последовательности символов А, С, G и Т на стан-

дартном языке, называемом *генетическим кодом*, который одинаков, с очень небольшими вариациями, для всей жизни на Земле. (Некоторые вирусы основаны на родственном типе молекул, РНК, тогда как прионы¹ в некотором смысле — самовоспроизводящиеся белковые молекулы.) Особые структуры внутри клеток каждого организма действуют как компьютеры, исполняя заложенные в этих генах программы. Исполнение заключается в производстве определенных молекул (белков) из более простых молекул (аминокислот) при определенных внешних условиях. Например, последовательность АТГ — это команда для включения в создаваемую белковую молекулу аминокислоты метионина.

Обычно ген химически «включается» в определенных клетках тела, а затем дает этим клеткам команды производить соответствующий белок. Например, гормон инсулин, который отвечает за уровень сахара в крови у позвоночных, является именно таким белком. Производящий его ген присутствует почти в каждой клетке тела, но включается только в строго определенных клетках поджелудочной железы и только тогда, когда это необходимо. На молекулярном уровне это все, на выполнение чего любой ген способен запрограммировать свой клеточный компьютер: произвести определенный химический продукт. Но гены успешно выполняют свои репликаторные функции, потому что эти химические программы низкого уровня, слой за слоем благодаря сложному управлению и обратной связи, складываются в изоцированные высокоуровневые программы. Ген инсулина и гены, которые включают и отключают его, вместе эквивалентны полной программе регулирования уровня сахара в крови.

Подобным же образом существуют гены, которые содержат особые инструкции о том, как и когда должны быть скопированы они сами и другие гены, а также инструкции для производства следующих организмов того же вида, включая те молекулярные компьютеры, которые вновь выполняют все эти инструкции в следующем

¹ Прионы — «неправильно» свернутые белковые молекулы, способные катализировать такое же сворачивание других гомологичных (имеющих ту же последовательность аминокислот) молекул. Выступая в качестве инфекционных агентов, прионы вызывают ряд заболеваний, в частности, губчатую энцефалопатию («коровье бешенство»). — *Прим. ред.*

поколении. Также существуют инструкции, сообщающие, каким образом весь организм в целом должен реагировать на раздражители, например, когда и как он должен охотиться, есть, спариваться, драться или убежать. И так далее.

Ген способен функционировать как репликатор только в определенных средах. По аналогии с экологической «нишей» (набором сред, в которых организм может выжить и произвести потомство) я буду также использовать термин *ниша* для набора всех возможных сред, которые данный репликатор заставляет создавать его копии. Ниша гена инсулина включает среды, где ген расположен в клеточном ядре вместе с некоторыми другими генами, а сама клетка должным образом расположена внутри функционирующего организма, причем этот организм находится в естественной среде, подходящей для поддержания его жизни и размножения. Но существуют также и другие среды — например, биотехнологические лаборатории, в которых бактерии генетически изменяют, добавляя им этот ген, — где сходным образом копируется ген инсулина. Такие среды тоже являются частью ниши гена, как и бесконечное множество других возможных сред, весьма отличных от тех, в которых этот ген сформировался.

Не все, что может быть скопировано, является репликатором. Репликатор *побуждает* свою среду к тому, чтобы она его скопировала, то есть он вносит причинный вклад в свое собственное копирование. (Моя терминология немного отличается от терминологии Докинза. Он называет репликатором все, что копируется по любой причине. То, что я называю репликатором, он назвал бы *активным* репликатором.) Я еще вернусь к тому, что в общем случае означает «вносить причинный вклад» во что-либо, но здесь я имею в виду, что от присутствия и особой физической формы репликатора *зависит*, происходит копирование или нет. Другими словами, если репликатор присутствует, то он копируется, но если заменить его почти любым другим объектом, даже довольно похожим, этот объект не будет скопирован. Например, ген инсулина служит причиной лишь одного маленького шага в исключительно сложном процессе своей собственной репликации (этот процесс и есть весь жизненный цикл организма). Однако подавляющее большинство вариаций

этого гена не дали бы клеткам команды произвести химический продукт, который смог бы выполнить работу инсулина. Если гены инсулина в клетках отдельного организма заменить лишь немного отличными молекулами, этот организм умрет (если только в нем не поддерживать жизнь с помощью других средств), а, следовательно, он не оставит потомства, и эти молекулы не будут скопированы. Таким образом, то, произойдет копирование или нет, исключительно чувствительно к физической форме гена инсулина. От присутствия этого гена в должной форме и должном месте *зависит*, произойдет ли процесс копирования, который сделает его репликатором, хотя существует и бесчисленное множество других причин, которые вносят свой вклад в его репликацию.

Наряду с генами в ДНК большинства живых организмов присутствуют *случайные* последовательности А, С, G и Т, иногда называемые *мусорными последовательностями*. Они также копируются и передаются потомкам данного организма. Однако если такая последовательность замещается почти любой другой последовательностью похожей длины, она все равно копируется. Таким образом, мы можем сделать вывод, что копирование таких последовательностей не зависит от их конкретной физической формы. В отличие от генов, мусорные последовательности ДНК не являются программами. Если они и выполняет какую-то функцию (так ли это, неизвестно), то эта функция не может заключаться в переносе любой информации. Хотя такая последовательность копируется, она не вносит причинный вклад в свое собственное копирование и, следовательно, не является репликатором.

На самом деле это преувеличение. Все, что копируется, должно вносить хоть какой-то причинный вклад в это копирование. Мусорные последовательности, например, все же состоят из ДНК, что позволяет клеточному компьютеру их копировать. Клеточный компьютер не может копировать молекулы, отличные от молекул ДНК. Вряд ли стоит считать что-либо репликатором, если его причинный вклад в свою собственную репликацию мал, хотя, строго говоря, можно ли его так называть — это вопрос степени. Я определяю *степень адаптации* репликатора к данной среде как степень вклада, сделанного репликатором в процесс своей собственной

репликации в этой среде. Если репликатор хорошо адаптирован к большинству сред некоторой ниши, мы можем назвать его хорошо адаптированным к этой нише. Мы только что видели, что ген инсулина в высшей степени адаптирован к своей нише. Мусорные ДНК-последовательности имеют пренебрежимо малую степень адаптации по сравнению с геном инсулина или другими настоящими генами, но они гораздо лучше адаптированы к этой нише, чем большинство молекул.

Обратите внимание, что для численной оценки степени адаптации мы должны учесть не только рассматриваемый репликатор, но также и некоторый диапазон его возможных вариантов. Чем более чувствительно копирование в данной среде к точной физической структуре репликатора, тем выше адаптация репликатора к этой среде. Для высоко адаптированных репликаторов (которые только и заслуживают названия репликаторов) необходимо рассмотреть только небольшие вариации, потому что при значительных вариациях они в большинстве случаев уже не будут репликаторами. Итак, мы рассматриваем возможность замены репликатора сходными в общих чертах объектами. Чтобы определить степень адаптации к нише, необходимо рассмотреть степень адаптации репликатора к каждой среде этой ниши. Следовательно, необходимо рассмотреть как варианты репликатора, так и варианты этой среды. Если большая часть вариантов репликатора не сумеет побудить большую часть сред ниши к его копированию, значит, данная форма репликатора является веской причиной его самокопирования в этой нише, что мы и имеем в виду, когда говорим, что он в высшей степени адаптирован к этой нише. С другой стороны, если большинство вариантов репликатора будут копироваться в большинстве сред ниши, значит, форма нашего репликатора не слишком важна: копирование все равно произойдет. В этом случае наш репликатор вносит небольшой причинный вклад в свое копирование и его нельзя назвать высокоадаптированным к этой нише.

Таким образом, степень адаптации репликатора зависит не только от того, что репликатор делает в своей фактической среде, но также и от того, что *делало бы* множество других объектов, большинство из которых не существует, во множестве сред, отличных

от этой фактической среды. Мы уже сталкивались с этим любопытным свойством раньше. Точность воспроизведения в виртуальной реальности зависит не только от тех реакций, которые фактически выдает машина на то, что фактически делает пользователь, но и от реакций, которые она на деле не выдает в ответ на действия, которых пользователь в действительности не совершал. Такая схожесть между жизненными процессами и виртуальной реальностью не является простым совпадением, и я кратко это объясню.

Самый важный фактор, определяющий нишу гена, обычно состоит в том, что репликация гена зависит от присутствия других генов. Например, репликация гена инсулина медведя зависит не только от присутствия в теле медведя всех других генов, но также и от присутствия во внешней среде генов других организмов. Медведи не могут выжить без пищи, а гены для производства этой пищи существуют только в других организмах.

Различные виды генов, которым для репликации необходимо сотрудничество друг с другом, часто сосуществуют в длинных цепочках ДНК, ДНК *организма*. Организм — это нечто (например, животное, растение или микроб), о чем на обыденном языке мы думаем как о живом. Но из сказанного мной следует, что «живой», применительно к частям организма, отличным от ДНК, — это, в лучшем случае, титул учтивости¹, не более того. *Организм не является репликатором*: он — часть среды репликаторов, обычно самая важная часть после всех остальных генов. Оставшаяся часть среды — это тип местообитания, которое может занимать организм (например, вершина горы или дно океана), и конкретный образ жизни в нем (например, охотник или фильтратор), который дает организму возможность прожить там достаточно долго, чтобы произошла репликация его генов.

На повседневном языке мы говорим о «размножении» организмов; это и в самом деле считалось одним из «признаков живых объектов». Другими словами, мы думаем об организмах как о репликаторах.

¹ Титул учтивости — личный аристократический титул в некоторых странах, используемый неформально наследниками титулованных дворян прежде, чем они унаследуют его по закону и обретут соответствующие титулу права. — *Прим. ред.*

Но это ошибочно! Организмы во время размножения не копируются; и еще меньше они побуждают свое собственное копирование. Они создаются заново по чертежам, заложенным в ДНК родительских организмов. Например, если случайно изменится форма носа медведя, это может изменить весь образ жизни этого конкретного медведя, и его шансы на выживание для «воспроизводства себя» могут как увеличиться, так и уменьшиться. Но у медведя с новой формой носа нет шансов быть скопированным. Если у него будет потомство, то носы его потомков будут обычными. Но стоит только изменить соответствующий ген (если делать это сразу же после зачатия медведя, необходимо изменить только одну молекулу), и у всех его потомков будут не только носы новой формы, но и копии нового гена. Это показывает, что форма каждого носа зависит от этого гена, а не от формы какого-либо предыдущего носа. Таким образом, форма носа медведя не вносит причинного вклада в форму носа его потомка. Но форма генов медведя дает вклад и в свое собственное копирование, и в форму носа медведя, а также в форму носа его потомков.

Таким образом, организм — это ближайшая среда, копирующая реальные репликаторы, то есть гены этого организма. Традиционно нос медведя и его берлогу классифицировали бы как живой и неживой объекты соответственно. Однако в основе этого разделения нет какого бы то ни было принципиального различия. Роль носа медведя не имеет фундаментальных отличий от роли его берлоги. Ни то ни другое репликатором не является, хотя постоянно создаются новые примеры и того и другого. И нос, и берлога — это всего лишь части среды, которой манипулируют гены медведя в процессе своей репликации.

Это основанное на генах понимание жизни, — в рамках которого организмы рассматриваются по отношению к генам как часть окружающей среды, — неявно содержалось в основаниях биологии со времен Дарвина, но его не замечали почти до 1960-х годов и не до конца понимали до появления трудов Ричарда Докинза «Эгоистичный ген» (1976) и «Расширенный фенотип» (1982)¹.

¹ Эти книги вышли в русском переводе в 1993 и 2010 гг. соответственно. — Прим. ред.

Теперь я вернусь к вопросу о том, является ли жизнь фундаментальным явлением природы. Я уже предостерег от редукционистского допущения, будто эмерджентные явления, подобные жизни, с необходимостью менее фундаментальны, чем микроскопические физические явления. Тем не менее кажется, что все, что я только что говорил о том, что такое жизнь, указывает на то, что это всего лишь побочный эффект в конце длинной цепочки побочных эффектов. Дело не только в том, что *предсказания* биологии, в принципе, сводятся к предсказаниям физики, а в том, что то же самое происходит и с объяснениями. Как я уже сказал, великие объяснительные теории — теория Дарвина (в современных версиях, излагаемых, например, Докинзом) и современная биохимия — являются *редуктивными*. Живые молекулы — гены — это всего лишь молекулы, которые подчиняются тем же самым законам физики и химии, что и неживые. Они не содержат никакой особой субстанции и не имеют особых физических свойств. Они просто в определенных средах оказываются репликаторами. Свойство репликации в высшей степени контекстуально, то есть оно зависит от тонких особенностей окружающей среды репликатора: объект может быть репликатором в одной среде и не быть им в другой. Свойство адаптации к нише также зависит не от какого-то простого физического атрибута, присущего репликатору в данное время, а от следствий, которые оно может вызвать в будущем и в гипотетических условиях (т. е. в вариантах этой среды). Контекстуальные и гипотетические свойства по сути своей производны, поэтому сложно понять, каким образом явление, характеризующее только такими свойствами, может быть фундаментальным явлением природы.

В отношении физических проявлений жизни вывод тот же самый: влияние жизни кажется пренебрежимо малым. Все наши знания указывают на то, что планета Земля — это единственное место во Вселенной, где существует жизнь. Безусловно, мы не видели данных о существовании жизни где бы то ни было еще, так что, даже если она достаточно широко распространена, ее проявления слишком малы для нашего восприятия. За пределами Земли мы видим активную Вселенную, переполненную разнообразными, мощными, но абсолютно неживыми процессами. Галактики вращаются. Звезды

конденсируются, зажигаются, горят, взрываются и коллапсируют. Частицы высоких энергий, электромагнитные и гравитационные волны распространяются во всех направлениях. И кажется не очень важным, есть ли среди всех этих титанических процессов жизнь. Кажется, что, будь там жизнь, она ничуть не повлияла бы ни на один из этих процессов. Если бы огромная солнечная вспышка поглотила Землю, что само по себе с точки зрения астрофизики событие незначительное, наша биосфера мгновенно стала бы стерильной, но эта катастрофа повлияла бы на Солнце столь же мало, как капля дождя на извергающийся вулкан. Наша биосфера, принимая во внимание ее массу, энергию или любую подобную астрофизическую меру значимости, — пренебрежимо малая часть даже Земли. При этом в астрономии считается трюизмом, что Солнечная система, в сущности, состоит из Солнца и Юпитера. Все остальное (включая Землю) — «просто примеси». Более того, Солнечная система — пренебрежимо малая составляющая Млечного Пути — галактики, которая сама по себе ничем не примечательна среди множества других в известной Вселенной. Таким образом, кажется, что, как сказал Стивен Хокинг, «человеческая раса — это всего лишь химическая грязь на средних размеров планете, обращающейся вокруг самой обычной звезды, на окраине одной из сотен миллиардов галактик»¹.

Таким образом, доминирующий сегодня взгляд состоит в том, что жизнь далека от центрального положения в геометрическом, теоретическом или практическом плане и почти невыразимо мало значима. В свете этого биология имеет тот же статус, что и география. План города Оксфорда важен для тех, кто в нем живет, но безразличен для тех, кто никогда туда не поедет. Подобным же образом кажется, что жизнь — это парохимальное свойство какой-то области Вселенной или, возможно, нескольких областей, фундаментальное для нас, потому что мы живые, но не имеющее ни теоретической, ни практической фундаментальности в более крупной схеме вещей.

Как ни удивительно, этот взгляд является заблуждением. Это просто неправда, что жизнь несущественна по своим физическим проявлениям или по своим теоретическим следствиям.

¹ Из интервью с Кеном Кэмпбеллом в 1995 г. — *Прим. ред.*

В качестве первого шага к обоснованию этого тезиса позвольте мне объяснить сделанное мной ранее замечание о том, что жизнь — это форма виртуальной реальности. Я использовал слово «компьютеры» для обозначения механизмов, выполняющих генетические программы в живых клетках, но это не вполне строгая терминология. По сравнению с универсальными компьютерами, которые мы производим искусственно, в некоторых отношениях они делают больше, а в других — меньше. Их не так уж легко запрограммировать для написания текстов или для разложения на множители больших чисел. С другой стороны, они осуществляют очень точное интерактивное управление реакциями сложной среды (организма) на все, что только может с ним произойти. И это управление имеет целью вызвать определенное ответное воздействие среды на гены (а именно, реплицировать их), причем такое, чтобы совокупное влияние на гены было насколько возможно независимым от происходящего вовне. Это больше, чем просто вычисление. Это — реализация виртуальной реальности.

Аналогия с человеческой технологией виртуальной реальности неидеальна. Во-первых, хотя гены, как и пользователь виртуальной реальности, находятся в среде, детали строения и поведения которой определены программой (которую и заключают в себе сами гены), гены не *ощущают* нахождения в этой среде, потому что они не способны ни чувствовать, ни ощущать. Поэтому, если организм — это виртуализация, определяемая его генами, то зрителей у этой картины нет. Кроме того, организм не просто генерируется виртуально, он создается физически. Ген не нужно «обманывать», чтобы он поверил, что вне его есть организм. Организм там действительно есть.

Однако эти отличия несущественны. Как я уже сказал, *всякая* генерация в виртуальной реальности есть физическое изготовление создаваемой среды. Внутренняя часть любого генератора виртуальной реальности в процессе работы — это совершенно реальная физическая среда, произведенная, чтобы иметь свойства, заданные в программе. Это мы, пользователи, иногда интерпретируем ее как другую среду, которая дает такие же ощущения. Что же касается отсутствия пользователя, давайте явным образом рассмотрим, в чем состоит его

роль в виртуальной реальности. Во-первых, воздействовать на создаваемую среду, чтобы ощутить ответное воздействие — другими словами, независимо взаимодействовать со средой. В биологии эту роль играет внешняя среда обитания. Во-вторых, обеспечить *намерение*, стоящее за генерацией. Бессмысленно, в общем-то, говорить о конкретной ситуации как о воссозданной виртуальной реальности, если не существует понятия точности или неточности воспроизведения. Я сказал, что точность воспроизведения — это близость (как ее воспринимает пользователь) созданной среды к той, которую намеревались создать. Но что значит точность для среды, которую никто не намеревался создавать и не воспринимает? Точностью здесь является степень адаптации генов к своей нише. Мы можем вывести «намерение» генов воспроизвести среду, которая будет их реплицировать, из теории эволюции Дарвина. Гены вымирают, если не осуществляют это «намерение», так же эффективно или решительно, как конкурирующие с ними гены.

Таким образом, жизненные процессы и создание виртуальной реальности, если отбросить поверхностные различия, оказываются процессами одного рода. И те и другие включают физическое воплощение общих теорий о среде. В обоих случаях эти теории используются для реализации этой среды и для интерактивного управления не только ее непосредственными внешними проявлениями, но и всеми откликами на любого рода раздражители.

Гены несут знание о своих нишах. Все, что имеет фундаментальную значимость относительно явления жизни, определяется этим свойством, а не репликацией *самой по себе*. Таким образом, теперь мы можем попытаться вывести обсуждение за пределы репликаторов. В принципе, можно представить вид, гены которого неспособны к репликации, но вместо этого адаптированы к сохранению своей неизменной физической формы путем постоянного самообслуживания и защиты от внешних воздействий. Маловероятно, что такой вид возникнет естественным образом, но его можно было бы создать искусственно. Точно так же как степень адаптации репликатора определяется как степень причинного вклада, который он делает в свою собственную репликацию, можно определить степень адаптации этих нерепликантных генов как степень

вклада, который они делают в свое собственное выживание в конкретной форме. Рассмотрим вид, генами которого являются узоры, вытравленные в алмазе. Обычный алмаз случайной формы может выживать в течение многих геологических эр, в широком диапазоне условий, но его форма не является *адаптированной* к выживанию, потому что алмаз другой формы тоже выживет в похожих условиях. Но если гены нашего гипотетического вида, закодированные в алмазе, заставят организм вести себя так, чтобы, например, защитить травленную поверхность алмаза от коррозии во враждебной среде, от других организмов, пытающихся вытравить на ней другую информацию, или от воров, которые разрежут алмаз, отполируют и сделают из него драгоценный камень, то тогда это будут истинные адаптации для выживания в данных средах. (Кстати, драгоценный камень *действительно* обладает некоторой степенью адаптации для выживания в среде современной Земли. Люди ищут необработанные алмазы и изменяют их форму, создавая драгоценные камни. Но они ищут и сами драгоценные камни и сохраняют их форму. Так что в этой среде форма драгоценного камня вносит причинный вклад в свое собственное выживание).

Как только остановится производство этих искусственных организмов, число примеров каждого нерепликантного гена уже не сможет увеличиться. Но оно и не уменьшится, пока знание, которое содержат эти гены, будет достаточным для осуществления стратегии выживания этих генов в занимаемой ими нише. В конце концов, достаточно крупная перемена в среде обитания или истощение, вызванное несчастными случаями, может стереть этот вид с лица земли, но он может сохраняться так же долго, как и множество видов, возникающих естественным путем. Гены таких видов обладают всеми свойствами реальных генов, кроме репликации. В частности, они содержат знание, необходимое для сохранения их организмов в полной аналогии с настоящими генами.

Общей особенностью для репликантных и нерепликантных генов является *выживание знания*, а не обязательно гена или какого-то другого физического объекта. Поэтому, строго говоря, к нише адаптируется или не адаптируется какая-то часть знания, а не физический объект. Если адаптация происходит, то у этого знания появляется

свойство: однажды воплотившись в этой нише, знание будет стремиться оставаться там. В случае с репликатором реализующий его физический материал постоянно меняется: новая копия собирается из нерепликантных составляющих при каждой репликации. Нерепликантное знание также может успешно воплощаться в *различных* физических формах, как, например, в случае переноса старой записи с виниловой пластинки на магнитную ленту, а потом на компакт-диск. Можно представить себе другой искусственный живой организм с нерепликантной основой, который поступал бы точно так же, используя каждую возможность для копирования знания, содержащегося в его генах, на самую надежную из доступных ему сред. Быть может, когда-нибудь так станут поступать наши потомки.

Я считаю странным называть организмы этих гипотетических видов «неживыми», однако терминология здесь не так уж важна. Дело в том, что, хотя вся известная жизнь основана на репликаторах, в действительности она строится вокруг одного явления — знания. Мы можем дать определение адаптации непосредственно на основе знания: сущность адаптирована к своей нише, если воплощает знание, заставляющее эту нишу сохранять существование данного знания.

Итак, мы приближаемся к причине того, почему жизнь фундаментальна. Жизнь состоит в физическом воплощении знания, а в главе 6 мы уже встречали закон физики, принцип Тьюринга, который также заключается в физическом воплощении знания. Он гласит, что можно воплощать законы физики с их действием на любую физически возможную среду, в программах для генератора виртуальной реальности. Гены являются такими программами. И не только они, но и все остальные программы виртуальной реальности, которые физически существуют или когда-либо будут существовать, — это прямые или косвенные проявления жизни. Например, программы виртуальной реальности, которые выполняются нашими компьютерами или нашим мозгом, — это косвенные проявления человеческой жизни. Таким образом, жизнь — это средство (по-видимому, необходимое средство) воплощения в природе тех эффектов, о которых говорит принцип Тьюринга.

Это обнадеживает, но еще недостаточно для того, чтобы признать жизнь фундаментальным явлением. Я все еще не установил, что сам принцип Тьюринга имеет статус фундаментального закона. Скептик мог бы оспорить, утверждая, что он не имеет такого статуса. Это закон, говорящий о физическом воплощении знания, и скептик мог бы посчитать, что знание — это понятие скорее парохильное и антропоцентрическое, нежели фундаментальное. То есть знание — это одна из тех вещей, которые важны для нас из-за того, чем мы являемся — животными, чья экологическая ниша зависит от создания и применения знания, — но которые не важны в абсолютном смысле. Для коалы, экологическая ниша которого зависит от эвкалиптовых листьев, важен эвкалипт; для применяющих знание приматов *Homo sapiens* важно знание.

Но скептик ошибся бы. Знание важно не только для *Homo sapiens* и не только на планете Земля. Я уже говорил, что наличие или отсутствие значительного физического влияния какой-либо сущности не является решающим для ее фундаментальности в природе. Тем не менее это существенный аспект. Давайте рассмотрим астрофизические следствия знания.

Теория звездной эволюции, описывающая строение и развитие звезд, — одна из больших успехов науки. (Обратите внимание на расхождение в терминологии. В физике слово «эволюция» означает развитие или просто движение, а не вариации и отбор, как в биологии.) Всего лишь сто лет назад не был известен даже источник солнечной энергии. Лучшая физика того времени давала только ложный вывод, что, каким бы ни был источник его энергии, Солнце не могло бы светить больше ста миллионов лет. Интересно, что геологи и палеонтологи уже тогда знали из ископаемых свидетельств о прошлой жизни, что Солнце должно было светить на Земле по крайней мере миллиард лет. Затем была открыта ядерная физика и со всеми своими тонкостями применена к физике звездных недр. С тех пор теория звездной эволюции достигла зрелости. Теперь мы понимаем, почему звезды светят. Для большинства типов звезд мы можем определить, какими были их температура, цвет, светимость и диаметр на каждой стадии существования, узнать длительность каждой из этих стадий, сказать, какие элементы звезда создает пу-

тем ядерных превращений, и т. д. Эта теория была проверена и подкреплена наблюдением за Солнцем и другими звездами.

Мы можем использовать эту теорию для предсказания будущего развития Солнца. Она говорит, что Солнце будет продолжать светить с большой стабильностью в течение еще приблизительно пяти миллиардов лет; затем оно увеличится примерно в сто раз по сравнению с его сегодняшним диаметром и станет красным гигантом; потом оно станет пульсировать, вспыхнет новой звездой, сколлапсирует и остынет, став в конечном итоге черным карликом¹. Но произойдет ли все это с Солнцем на самом деле? Неужели каждая звезда такой же массы и состава, которая сформировалась за несколько миллиардов лет до Солнца, уже стала красным гигантом, как предсказывает теория? И возможно ли, что некоторые, на первый взгляд, несущественные химические процессы на крошечных планетах, обращающихся вокруг этих звезд, могли изменить течение ядерных и гравитационных процессов, оперирующих неизмеримо большей массой и энергией?

Если Солнце действительно станет красным гигантом, оно поглотит и разрушит Землю. И если к тому времени на Земле все еще будут, физически или интеллектуально, жить наши потомки, они, скорее всего, не захотят, чтобы это произошло. Они будут делать все, что в их силах, чтобы это предотвратить.

Уверены ли мы, что они ничего не смогут сделать? Конечно, наша современная технология слишком слаба, чтобы справиться с подобной задачей. Но ни наша теория звездной эволюции, ни какая-либо другая известная нам физика не дает основания считать, что эта задача неразрешима. Напротив, мы уже знаем в общих чертах, что для ее решения потребуются (а именно — удаление материи с Солнца). И у нас есть несколько миллиардов лет, чтобы довести

¹ Это не совсем точное описание. Согласно современной теории звездной эволюции после стадии красного гиганта внешняя оболочка Солнца относительно спокойно рассеется в окружающем пространстве, образовав на некоторое время так называемую планетарную туманность. Оголившееся ядро станет постепенно остывающим белым карликом без всякого коллапса. Через десятки миллиардов лет он остынет настолько, что не будет давать видимого излучения, и тогда его можно будет назвать черным карликом. — *Прим. ред.*

до совершенства наши сырые планы и применить их на практике. Если наши потомки таким способом спасут себя, значит, наша современная теория звездной эволюции в применении к одной конкретной звезде — Солнцу — дает абсолютно неправильный ответ. А причина этого заключается в том, что она не учитывает влияние жизни на звездную эволюцию. Она учитывает фундаментальные физические эффекты, связанные с ядерными и электромагнитными силами, гравитацией, гидростатическим и радиационным давлением, но не с жизнью.

Похоже, что знание, необходимое для управления Солнцем, не смогло бы развиваться только путем естественного отбора, поэтому именно от присутствия *разумной* жизни зависит будущее Солнца. На это можно возразить, что очень серьезным и необоснованным допущением является идея о том, что разум выживет на Земле в течение нескольких миллиардов лет, и даже если выживет, то еще большее допущение считать, что он будет обладать знанием, необходимым для управления Солнцем. Одна из современных точек зрения заключается в том, что разумная жизнь на Земле даже сейчас находится в опасности саморазрушения, если не по причине ядерной войны, то от какого-нибудь побочного следствия технического прогресса или научного исследования. Многие люди считают, что если разумной жизни суждено выжить на Земле, то это может произойти только путем подавления технического прогресса. Поэтому они, возможно, боятся, что наше развитие технологий, необходимое для управления звездами, несовместимо с выживанием в течение достаточно длительного времени, чтобы воспользоваться этой технологией, и, следовательно, так или иначе, но предопределено, что жизнь на Земле не повлияет на эволюцию Солнца.

Я уверен, что этот пессимизм ошибочен. Как я объясню в главе 14, существует множество причин предполагать, что наши потомки в конечном итоге будут управлять Солнцем — и даже больше. Вероятно, мы не можем предвидеть ни технологию, ни их намерения. Возможно, они захотят спастись, покинув Солнечную систему или охлаждая Землю, или одним из множества других непостижимых для нас методов, которые включают манипуляции с Солнцем. С другой стороны, они могут захотеть управлять Солнцем за-

долго до того, когда понадобится предотвратить его переход в фазу красного гиганта (например, чтобы эффективнее использовать его энергию или чтобы добывать из него сырье для расширения своего жизненного пространства). Однако тезис, который я здесь доказываю, зависит не от нашей способности предсказывать то, что произойдет, а лишь от предположения, что будущие события зависят от того знания, которым будут обладать наши потомки и от того, как они его применят. Таким образом, невозможно предсказать будущее Солнца, не принимая во внимание будущее жизни на Земле и, в частности, будущее знания. Цвет Солнца через десять миллиардов лет будет зависеть от гравитации и радиационного давления, от конвекции и нуклеосинтеза. Он совсем не зависит от геологии Венеры, химии Юпитера или рисунка кратеров на Луне. Но он зависит от того, что произойдет с разумной жизнью на планете Земля. Он зависит от политики, экономики и результатов войн. Он зависит от того, что делают люди: какие решения они принимают, какие проблемы ставят, какие ценности выбирают и как ведут себя по отношению к детям.

От этого вывода нельзя уйти, приняв пессимистическую теорию относительно перспектив нашего выживания. Такая теория не следует ни из законов физики, ни из любого другого известного нам фундаментального принципа: ее можно доказать только на человеческом языке высокого уровня (например, «научное знание опередило моральное знание» или что-то подобное). Тем самым, рассуждая на основе такой теории, человек неявно признает, что для астрофизических предсказаний необходимы теории о человеческих делах. Но даже если попытки человеческой расы выжить в конце концов окажутся тщетными, применима ли эта пессимистическая теория ко всему внеземному разуму во Вселенной? Если нет, если некая разумная жизнь, в некой галактике, когда-либо сумеет выжить в течение миллиардов лет, то значит, жизнь важна в общем ходе физического развития Вселенной.

Во всей нашей Галактике и во всем мультиверсе звездная эволюция зависит от того, развилась ли разумная жизнь, и где это произошло, а если развилась, то от результатов ее войн и от ее отношения к своим детям. Например, мы можем приблизительно предсказать,

в какой пропорции звезды разных цветов (точнее, разных спектральных классов) должны встречаться в Галактике. Чтобы это осуществилось, мы должны сделать некоторые допущения относительно того, есть ли там разумная жизнь и что она делает все это время (то есть что она не погасила слишком много звезд). В настоящий момент наши наблюдения согласуются с тем, что за пределами нашей Солнечной системы разумной жизни не существует. Когда наши теории о строении нашей Галактики станут совершеннее, мы сможем делать более точные предсказания, но опять же лишь на основе допущений о распределении и поведении разума в Галактике. Если эти допущения будут неточными, ошибка в предсказании распределения спектральных классов почти столь же неизбежна, как если бы мы заблуждались относительно состава межзвездного газа или массы атома водорода. И если мы обнаружим определенные аномалии в распределении спектральных классов, это может быть свидетельством присутствия внеземного разума.

Космологи Джон Барроу¹ и Фрэнк Типлер² рассмотрели астрофизические проявления, которые имела бы жизнь, если она сохранится в течение долгого времени *после* того, когда Солнце станет красным гигантом. Они обнаружили, что жизнь в конечном итоге внесла бы грандиозные качественные перемены в строение Галактики, а впоследствии — и всей Вселенной. (К этим результатам я вернусь в главе 14.) Итак, еще раз: любая теория строения Вселенной во всех стадиях, за исключением самых ранних, должна принимать во внимание то, что будет или чего не будет делать жизнь к тому времени. Этого нельзя избежать: будущая история Вселенной зависит от будущей истории знания. Астрологи всегда верили, что космические события влияют на дела людей; наука веками счи-

¹ Джон Дэвид Барроу (род. 1952) — британский космолог, физик-теоретик и математик. Вместе с Фрэнком Типлером обобщил антропный принцип, заявив, что во вселенной с неизбежностью возникнет разумная обработка информации. — *Прим. ред.*

² Фрэнк Дженнингс Типлер (род. 1947) — американский математический физик и космолог. Автор концепции «точки Омега» — сингулярности, целенаправленно организованной во вселенной разумной жизнью. — *Прим. ред.*

тала, что ни космос не влияет на людей, ни люди на космос. Теперь мы понимаем, что дела людей влияют на космические события.

Стоит поразмышлять над тем, где мы сбились с пути и начали недооценивать физическое влияние жизни. Это произошло из-за нашей излишней парохильности. (Занятно, что достигнутый в древности консенсус обошелся без этой ошибки, потому что тогдашние взгляды были еще более парохильными.) Во Вселенной, как *мы ее видим*, жизнь не повлияла ни на что, что имело бы хоть какое-то астрофизическое значение. Однако мы видим только прошлое, и более или менее подробно мы видим только то прошлое, которое пространственно близко к нам. Чем дальше во Вселенную мы смотрим, тем в более отдаленное прошлое мы заглядываем и тем меньше подробностей видим. Но даже все прошлое — история Вселенной от Большого взрыва до настоящего момента — это лишь малая часть физической реальности. Настоящий момент и Большое сжатие (если оно произойдет) разделяет в десять раз большая история, а может быть, и намного больше, не говоря уже о других вселенных. Мы не можем наблюдать ни одну из них, но, применяя свои лучшие теории к будущему звезд, галактик и Вселенной, мы обнаруживаем огромное пространство, на которое может воздействовать жизнь и в конечном итоге захватить господство над всем, что происходит, точно так же, как сейчас она доминирует в биосфере Земли.

Традиционное обоснование малозначительности жизни придает слишком большой вес общим величинам, таким как размер, масса и энергия. В парохильном прошлом и настоящем такие величины были и остаются хорошей мерой астрофизической важности, но в физике не существует причины, почему так и должно оставаться. Более того, сама биосфера уже предоставляет множество контрпримеров, противоречащих общей применимости таких мер важности. В III веке до н. э., например, масса человеческой расы составляла около 10 млн т. Отсюда можно было бы сделать вывод о малой вероятности того, что присутствие или отсутствие людей могло в то время значительно повлиять на физические процессы, приводившие в движение во много раз большие массы. Однако именно в то время была построена Великая Китайская стена,

масса которой составляет около 300 млн т. Передвижение миллионов тонн камня — это одна из тех вещей, которыми все время занимаются люди. Сегодня необходимо всего несколько десятков человек, чтобы создать железнодорожную выемку или тоннель, переместив миллион тонн породы. (Эта мысль еще усилится, если сделать более честное сравнение — между массой перемещенной породы и массой той крошечной части мозга инженера или императора, в которой воплощены идеи, или мемы, заставившие выполнить эту работу.) У человеческой расы в целом (или, если хотите, у ее коллекции мемов), возможно, уже достаточно знаний, чтобы разрушать целые планеты, если бы от этого зависело ее выживание.

Даже неразумная жизнь значительно трансформировала вещество земной поверхности и атмосферы, которое во много раз превышает по массе ее саму. Весь кислород в нашей атмосфере, например, — около 1000 трлн т — был создан растениями, а значит, стал побочным эффектом репликации генов, то есть молекул-потомков единственной молекулы. Жизнь оказывает влияние не потому, что она характеризуется большими размерами, массой или энергией, чем другие физические процессы, а потому что она обладает большим знанием. По макроскопическому эффекту, которое знание оказывает на результаты физических процессов, оно по крайней мере столь же важно, как и любая другая физическая характеристика.

Но существует ли, как полагали древние в отношении к жизни, базовое физическое различие между объектами — носителями знания и объектами, не являющимися его носителями; различие, которое не зависит ни от среды, окружающей объекты, ни от их влияния на отдаленное будущее, а зависит только от непосредственных физических атрибутов этих объектов? Удивительно, но существует. Чтобы его увидеть, необходим взгляд с точки зрения мультиверса.

Рассмотрим ДНК живого организма, например, медведя, и предположим, что где-то в одном из его генов мы обнаруживаем последовательность TCGTCGTTTC. Эта конкретная цепочка из десяти молекул в специальной нише, состоящей из оставшейся части гена и его ниши, является репликатором. Она воплощает небольшой, но важный кусочек знания. Теперь предположим, чисто теорети-

чески, что мы можем найти в ДНК медведя негенетический сегмент мусорной ДНК, в котором также есть последовательность TCGTCTGTTTC. Эту последовательность не стоит называть репликатором, потому что она не дает практически никакого вклада в свою собственную репликацию и не несет знания. Это случайная последовательность. Итак, у нас есть два физических объекта, два сегмента одной и той же цепочки ДНК, один из которых воплощает знание, а другой является случайной последовательностью. Но они *физически идентичны*. Каким образом знание может быть фундаментальной физической величиной, если один объект обладает им, а другой, физически идентичный первому, им не обладает?

И тем не менее может, так как эти два фрагмента в действительности не идентичны. Они только кажутся идентичными, когда на них смотрят из некоторых вселенных, таких как наша. Давайте посмотрим на них еще раз так, как они выглядят в других вселенных. Мы не можем наблюдать другие вселенные непосредственно, поэтому нам придется воспользоваться теорией.

Нам известно, что ДНК живых организмов подвержены случайным естественным вариациям — *мутациям* — в последовательности молекул А, С, G и Т. Согласно теории эволюции от появления таких мутаций зависят адаптации в генах, а, следовательно, зависит и само существование генов. Из-за мутаций популяция любого гена обладает некоторой вариативностью, и особи — носители генов с более высокой степенью адаптации, как правило, оставляют больше потомков, чем другие особи. Большая часть вариаций гена делает его неспособным вызывать свою репликацию, потому что измененная последовательность уже не приказывает клетке производить что-то полезное. Другие вариации просто делают репликацию менее вероятной (то есть они сужают нишу гена). Однако некоторые могут воплощать новые команды, которые сделают репликацию *более* вероятной. Так происходит естественный отбор. С каждым поколением вариации и репликации степень адаптации выживших генов имеет тенденцию к увеличению. Далее, случайная мутация, вызванная, например, попаданием космической частицы, вызывает вариацию не только внутри популяции организма в одной вселенной, но и между вселенными. Космическая частица —

это высокоэнергетическая субатомная частица, и, подобно фотону, испускаемому электрическим фонариком, в разных вселенных она перемещается в различных направлениях. Поэтому, когда космическая частица попадает в цепочку ДНК и вызывает мутацию, некоторые из ее партнеров в других вселенных не попадают в свои копии цепочки ДНК или попадают в этих цепочках в другие места, вызывая, следовательно, другие мутации. Таким образом, попадание одной космической частицы в одну молекулу ДНК в общем случае вызовет в различных вселенных множество различных мутаций.

Когда мы размышляем, как конкретный объект может выглядеть в других вселенных, нам не следует заглядывать в мультиверс так далеко, что распознать партнера этого объекта в другой вселенной станет невозможно. Возьмем, например, сегмент ДНК. В некоторых вселенных совсем нет молекул ДНК. Другие вселенные, содержащие ДНК, настолько не похожи на нашу, что не существует способа распознать, какой сегмент ДНК в другой вселенной соответствует тому сегменту, который мы рассматриваем в нашей Вселенной. Бессмысленно задаваться вопросом о том, как наш конкретный сегмент ДНК выглядит в подобной вселенной, поэтому, во избежание появления такой неопределенности, мы должны рассматривать только те вселенные, которые достаточно похожи на нашу. Например, мы могли бы рассматривать только те вселенные, в которых существуют медведи, и в которых образец ДНК медведя был помещен в анализатор, запрограммированный на распечатку десяти букв, представляющих структуру в заданной позиции относительно конкретных ориентиров точно определенной цепочки ДНК. Последующее обсуждение останется в силе, если мы выберем любой другой разумный критерий распознавания соответствующих сегментов ДНК в близких вселенных.

По любому такому критерию сегмент гена медведя почти во всех близких вселенных должен иметь такую же последовательность, как и в нашей. Так происходит потому, что этот ген, по-видимому, обладает высокой степенью адаптации, а это значит, что большая часть его вариантов не сумеет обеспечить свое копирование в большинстве вариантов среды, а потому не сможет появиться именно в этом сегменте ДНК живого медведя. Наоборот, когда сегмент ДНК,

не несущий знание, подвергается почти любой мутации, мутировавший вариант тем не менее остается способным к копированию. За многие поколения репликации произойдет множество мутаций, и в большинстве своем они не окажут никакого влияния на репликацию. Следовательно, сегмент мусорной последовательности, в отличие от своего генного собрата, будет совершенно гетерогенным в различных вселенных. Вполне может быть так, что каждая возможная вариация его последовательности будет в равной степени представлена в мультиверсе (то есть то, что мы должны подразумевать под этой последовательностью, будет совершенно случайно).

Таким образом, мультиверсная перспектива открывает дополнительную физическую в структуру ДНК медведя. В нашей Вселенной она содержит два отрезка с последовательностью TCGTCGTTTC. Один из них является частью гена, другой не является. В большинстве других близких вселенных первый из двух отрезков имеет ту же самую последовательность, TCGTCGTTTC, что и в нашей вселенной, но второй отрезок сильно различается в близких вселенных. Таким образом, в разрезе мультиверса эти два сегмента даже отдаленно не похожи друг на друга (рис. 8.1).

Мы вновь размышляли слишком парохально и пришли к ложному выводу о том, что сущности, несущие знание, могут быть физически идентичны сущностям, не несущим знание; а это, в свою очередь, ставит под сомнение фундаментальность знания. Однако к настоящему моменту мы уже совершили почти полный круг. Мы видим, что древняя идея об особых физических свойствах живой материи почти истинна: физически особенна не живая материя, а материя, *несущая знание*. В одной вселенной она выглядит беспорядочной; но среди вселенных она имеет регулярную структуру, подобно кристаллу в мультиверсе.

Таким образом, знание — это все-таки фундаментальная физическая характеристика, а явление жизни чуть менее фундаментально.

Представьте себе, что вы смотрите на молекулу ДНК медвежьей клетки в электронный микроскоп, пытаетесь отличить гены от негенетических последовательностей и оценить степень адаптации каждого гена. В любой отдельной вселенной это невозможно. Свойство быть геном, то есть иметь высокую степень адаптации, является —

постольку, поскольку ее можно обнаружить в пределах одной вселенной, — чрезвычайно сложным. Это эмерджентное свойство. Вам пришлось бы сделать множество копий ДНК с вариациями, применить генную инженерию, чтобы создать множество эмбрионов медведей для каждого варианта ДНК, вырастить этих медведей, поселив их в различные среды, соответствующие экологической нише медведя, и посмотреть, какие медведи оставят больше потомков.



Рис. 8.1. Взгляд из мультиверса на два сегмента ДНК, которые оказались идентичными в нашей вселенной: один — случайный, другой — входящий в состав гена

Но с волшебным микроскопом, который мог бы заглянуть в другие вселенные (что, я подчеркиваю, невозможно: мы используем теорию, чтобы представить — или воссоздать — то, что, как нам известно, должно там находиться), эта задача стала бы простой. Как на рис. 8.1, гены отличались бы от негенов как обработанные поля отличаются на аэрофотоснимках от джунглей, или как кристаллы отличаются от раствора, в котором они выросли. Они регулярны во многих близких вселенных, тогда как все негены, сегменты мусорной последовательности, нерегулярны. Что касается степени адаптации гена, оценить ее почти так же просто. Гены с лучшей адаптацией будут иметь одну и ту же структуру в более обширном диапазоне вселенных — у них будут более крупные «кристаллы».

Теперь давайте отправимся на другую планету и попытаемся найти местные формы жизни, если таковые там имеются. Опять-таки сложность этой задачи хорошо известна. Вам пришлось бы провести сложные и тонкие эксперименты, бесконечные провалы которых стали предметом множества научно-фантастиче-

ских рассказов. Но если только вы могли бы наблюдать в телескоп весь мультиверс, жизнь и ее следствия были бы очевидны с первого взгляда. Вам всего лишь необходимо искать сложные структуры, которые кажутся нерегулярными в любой отдельной вселенной, но идентичными во многих близких вселенных. Если вы увидите что-либо подобное, вы обнаружите некое физически воплощенное знание. А где есть знание, там должна быть жизнь, по крайней мере прошлая.

Сравним живого медведя с созвездием Большой Медведицы. Живые медведи во многих близких вселенных анатомически очень схожи. Таким свойством обладают не только их гены, но и все тело (хотя некоторые характеристики тела, например вес, могут отличаться гораздо больше, чем гены; так происходит потому, что, к примеру, в различных вселенных медведь в большей или меньшей степени преуспел в недавних поисках пищи). Но в созвездии Большой Медведицы от одной вселенной к другой не существует такой регулярности. Форма созвездия — это результат начального состояния галактического газа, из которого формировались звезды. Это состояние было случайным — на микроскопическом уровне весьма различным в разных вселенных, — и процесс формирования звезд из этого газа включал всевозможные неустойчивости, увеличивавшие масштаб вариаций. В результате то расположение звезд, которое мы наблюдаем в данном созвездии, существует только в очень ограниченном диапазоне вселенных. В большинстве близких вариантов нашей вселенной в небе тоже есть созвездия, но они выглядят иначе.

И наконец, давайте точно так же посмотрим на Вселенную. Что увидит наш магически усиленный взгляд? В отдельной вселенной самые поразительные структуры — это галактики и скопления галактик. Но эти объекты не имеют различимой структуры в мультиверсе. Там, где в одной вселенной находится галактика, в мультиверсе собраны мириады галактик с весьма различной географией. И так во всем мультиверсе. Близкие вселенные похожи только в определенных общих чертах, как того требуют законы физики, которые применимы к ним всем. Так, большинство звезд имеет довольно точную сферическую форму во всем мультиверсе, а боль-

шинство галактик имеет спиральную или эллиптическую форму. Но ничто не простирается далеко в другие вселенные, не изменив детали своего строения до неузнаваемости. За исключением тех немногих мест, где есть воплощенное знание. В таких местах объекты простираются через огромное количество вселенных, оставаясь при этом узнаваемыми. Возможно, в настоящее время Земля — единственное подобное место в нашей Вселенной. В любом случае такие места выделяются, в описанном мной смысле, как места расположения процессов (жизни и мышления), породивших самые крупные различимые структуры в мультиверсе.

Терминология

Репликатор — сущность, побуждающая определенные среды к копированию репликатора.

Ген — молекулярный репликатор. Жизнь на Земле основана на генах, которые являются цепочками ДНК (в случае некоторых вирусов — РНК).

Мем — идея, которая является репликатором, например, шутка или научная теория.

Ниша — нишей репликатора является набор всех возможных сред, в которых репликатор вызывает свою собственную репликацию. Ниша организма — это набор всех возможных сред, в которых организм может жить и размножаться, а также всех возможных образов его жизни.

Адаптация — степень адаптации репликатора к нише — это степень, в которой он вызывает репликацию себя в этой нише. В более общей формулировке сущность адаптирована к своей нише в такой степени, в какой она воплощает знание, побуждающее эту нишу сохранять это знание.

Резюме

Кажется, что научный прогресс со времен Галилея отвергал древнюю идею о том, что жизнь — это фундаментальное явление природы. Наука открыла, что масштаб Вселенной огромен по сравне-

нию с биосферой Земли. Кажется, что современная биология подтвердила это отвержение, объяснив жизненные процессы на основе молекулярных репликаторов, генов, поведением которых управляют те же законы физики, которые применимы и к неживой материи. Тем не менее жизнь связана с фундаментальным принципом физики — принципом Тьюринга, поскольку она является средством, с помощью которого виртуальная реальность была впервые реализована в природе. Также, вопреки очевидному, жизнь — это важный процесс в самых больших масштабах времени и пространства. Будущее поведение жизни определит будущее поведение звезд и галактик. И крупномасштабные регулярные структуры, охватывающие множество вселенных, существуют там, где развилась материя, несущая знание, такая как мозг или генетические сегменты ДНК.

Эта прямая связь между теорией эволюции и квантовой теорией, на мой взгляд, — одна из самых поразительных и неожиданных из множества связей, которые существуют между четырьмя основными нитями. Другая подобная связь — существование самостоятельной квантовой теории вычислений, лежащей в основе существующей теории вычислений. Эта связь — тема следующей главы.

Квантовые компьютеры

Для любого, кто не знаком с этим предметом, *квантовые вычисления* звучит как название новой технологии, возможно, самой новейшей в знаменитом ряду, включающем механические вычисления, вычисления на полупроводниковых транзисторах электроники и на кремниевых чипах и т. д. Причем даже существующие компьютерные технологии основываются на микроскопических квантово-механических процессах. (Конечно, *все* физические процессы являются квантово-механическими, но здесь я имею в виду только те, для которых классическая — т. е. неквантовая — физика дает очень неточные предсказания.) Если тенденция ко все более быстрым и все более компактным компьютерам сохранится, эта технология будет становиться все более «квантово-механической» просто потому, что квантово-механические эффекты доминируют во всех достаточно малых системах. Но если бы дело было только в этом, квантовые вычисления вряд ли могли бы фигурировать в любом фундаментальном объяснении структуры реальности, поскольку в них не было бы ничего фундаментально нового. Все современные компьютеры, какие бы квантово-механические процессы они ни использовали, — всего лишь различные технологические исполнения одной и той же *классической* идеи универсальной машины Тьюринга. Именно поэтому все существующие компьютеры имеют, в сущности, один и тот же репертуар вычислений: отличие состоит только в скорости, объеме памяти и устройствах ввода-вывода. Можно сказать, что даже самый непритязательный современный домашний компьютер можно запрограммировать для ре-

шения любой задачи или воспроизведения любой среды, которую могут сгенерировать наши самые мощные компьютеры, при условии установки на него дополнительной памяти, достаточно долгом времени обработки и подключении аппаратуры, подходящей для демонстрации результатов работы.

Квантовые вычисления — это нечто большее, чем просто более быстрая и миниатюрная технология реализации машины Тьюринга. *Квантовый компьютер* — это машина, которая использует уникальные квантово-механические эффекты, в особенности интерференцию, для выполнения совершенно новых видов вычислений, которые даже в принципе было бы невозможно выполнить ни на одной машине Тьюринга, а, следовательно, и ни на каком классическом компьютере. Таким образом, квантовые вычисления — это не что иное, как принципиально новый способ покорения природы.

Позвольте мне конкретизировать это заявление. Самыми первыми изобретениями для покорения природы были инструменты, приводимые в действие силой человеческих мускулов. Они радикально изменили условия жизни наших предков, но страдали от ограничения, которое заключалось в том, что они требовали постоянного внимания и усилий человека во время их использования. Дальнейшее развитие технологии позволило преодолеть это ограничение: люди сумели приручить некоторых животных и растения, обратив биологические адаптации этих организмов на пользу человеку. Урожай рос, а сторожевые собаки охраняли дом, пока их владельцы спали. Еще один новый вид технологии появился, когда люди начали не просто использовать существующие адаптации (и существующие небиологические явления, например, огонь), а создали совершенно новые для мира адаптации в виде керамики, кирпичей, колес, металлических изделий и машин. Чтобы сделать это, они должны были поразмыслить над законами природы, управляющими Вселенной, и понять их, включая, как я уже объяснил, не только ее поверхностные аспекты, но и лежащую в основе структуру реальности. Последовали тысячи лет развития технологий этого типа, позволивших овладеть некоторыми *материалами*, а также *физическими силами и энергиями*.

В XX веке, когда изобретение компьютеров позволило осуществить сложную обработку информации вне человеческого мозга, к этому списку добавилась информация. *Квантовые* вычисления, которые сейчас находятся в зачаточном состоянии, — качественно новый этап этого движения. Это будет первая технология, которая позволит выполнять полезные задачи при участии параллельных вселенных. Квантовый компьютер сможет распределить составляющие сложной задачи между множеством параллельных вселенных, а затем предоставить им всем результаты.

Я уже говорил о важности универсальности вычислений — о том, что один физически возможный компьютер может, при наличии достаточного времени и памяти, выполнить любое вычисление, доступное любому другому физически возможному компьютеру. Законы физики, как мы их сейчас понимаем, признают универсальность вычислений. Но для того, чтобы универсальность была полезной или важной в общей схеме вещей, сказанного мною недостаточно. Приведенное определение просто означает, что *в конечном итоге* универсальный компьютер сможет сделать то, что может сделать любой другой компьютер. Другими словами, он универсален *при наличии достаточного времени*. А что делать, если времени недостаточно? Представьте себе универсальный компьютер, который мог бы выполнить только одно вычислительное действие за всю жизнь Вселенной. *Его* универсальность по-прежнему оставалась бы глубоким свойством реальности? Вероятно, нет. Обобщая, можно раскритиковать такое узкое понятие универсальности, поскольку оно признает задачу входящей в репертуар компьютера без учета физических ресурсов, которые придется израсходовать компьютеру на выполнение этой задачи. Так, например, мы рассматривали пользователя виртуальной реальности, готового к остановке мозга на миллиарды лет, пока компьютер вычисляет, какую анимацию показывать дальше. Такое отношение вполне уместно при обсуждении пределов виртуальной реальности. Но когда мы говорим о ее *полезности*, или, что даже более важно, фундаментальной роли, которую она играет в структуре реальности, нам следует быть более разборчивыми. Эволюция никогда бы не произошла, если бы задача воспроизведения определенных свойств самых

первых, простейших сред обитания не была *легкорешаемой* (т. е. вычислимой в течение разумного периода времени) при использовании в качестве компьютеров легкодоступных молекул. Точно так же никогда не началось бы развитие науки и техники, если бы для изобретения каменного инструмента понадобились тысячи лет размышлений. Более того, то, что было истиной в самом начале, остается абсолютным условием прогресса на каждом этапе. Универсальность вычислений была бы бесполезна для генов независимо от количества содержащегося в них знания, если бы воссоздание организма не было *легкорешаемой* задачей — скажем, если бы один репродуктивный цикл занимал миллиарды лет.

Таким образом, факт *существования* сложных организмов и непрерывного ряда постепенно совершенствующихся изобретений и научных теорий (таких как механика Галилея, механика Ньютона, механика Эйнштейна, квантовая механика) говорит кое-что еще о том, какого рода универсальность вычислений существует в реальности. Он говорит нам, что действительные законы физики, по крайней мере, до сих пор, поддаются последовательной аппроксимации с помощью теорий, дающих все лучшие объяснения и предсказания, и что задача открытия каждой теории при наличии предыдущей является вычислительно разрешимой на базе ранее открытых законов и ранее созданных технологий. Структура реальности должна быть (и была) *многоуровневой* для легкого доступа к самой себе. Подобным образом, если рассматривать саму эволюцию как вычисление, этот факт говорит нам, что существовало достаточно много жизнеспособных организмов, закодированных с помощью ДНК, что позволило организмам с более высокой степенью адаптации быть вычисленными (т. е. проэволюционировать), используя ресурсы, предоставленные их предками с меньшей степенью адаптации. Таким образом, мы можем сделать вывод, что законы физики не только предписывают свою собственную постижимость через принцип Тьюринга, но и гарантируют, что соответствующие эволюционные процессы, такие как жизнь и мышление, не являются слишком затратными по времени и требуют не слишком много ресурсов иного рода, чтобы произойти в реальности.

Итак, законы физики не только позволяют (или, как я обосновал, *требуют*) существование жизни и мышления, но требуют от них эффективности, в некотором определенном смысле. Для выражения этого чрезвычайно важного свойства реальности современный анализ универсальности обычно исходит из возможности существования компьютеров, универсальных даже в более строгом смысле, чем того требует сам принцип Тьюринга: универсальные генераторы виртуальной реальности не только возможны, но их можно построить так, что они не потребуют непрактично больших ресурсов для воспроизведения простых аспектов реальности. В дальнейшем, говоря об универсальности, я буду иметь в виду именно такую универсальность, если не сказано иного.

Насколько эффективно можно воспроизвести те или иные аспекты реальности? Другими словами, какие вычисления можно практически выполнить за данное время и при данных возможностях? Это основной вопрос теории вычислительной сложности, которая, как я уже сказал, занимается изучением ресурсов, необходимых для решения вычислительных задач. Теория сложности еще не объединена в достаточной степени с физикой, чтобы дать многие ответы в количественном виде. Однако она достигла немалого успеха в важном деле грубого различия вычислительных задач на *легко* и *труднорешаемые*. Общий подход лучше всего проиллюстрировать на примере. Рассмотрим задачу умножения двух достаточно больших чисел, скажем, 4220851 и 2594209. Многие из нас помнят тот метод умножения, которому мы научились в детстве. Он включает умножение каждой цифры одного числа поочередно на каждую цифру другого, сдвиг промежуточных результатов и их сложение. Этот стандартный алгоритм позволяет получить окончательный ответ, в данном случае — 10949769651859. Вероятно, многие не захотят признать, что эта утомительная процедура делает умножение «легкой» задачей хоть в каком-то обыденном смысле этого слова. (В действительности существуют более эффективные методы умножения больших чисел, но этот весьма нагляден.) Однако с точки зрения теории сложности, которая имеет дело с трудными задачами, решаемыми компьютерами, не подверженными скуке и почти никогда не ошибающимися, этот метод определенно попадает в категорию «легких».

В соответствии со стандартным определением для «легкости» решения задачи важно не фактическое время, затрачиваемое на умножение конкретной пары чисел, а тот факт, что при применении того же самого метода даже к большим числам время увеличивается не слишком резко. Возможно, это покажется неожиданным, но такой очень косвенный метод определения «легкости» очень хорошо работает на практике для многих (хотя и не всех) важных классов вычислительных задач. В случае умножения, например, нетрудно убедиться, что стандартный метод можно использовать и для умножения чисел, скажем, в десять раз больших, приложив совсем незначительные дополнительные усилия. Ради иллюстрации предположим, что каждое элементарное умножение одной цифры на другую занимает у некоторого компьютера одну микросекунду (включая время, необходимое для сложения, сдвига и других операций, сопровождающих каждое элементарное умножение). При умножении семизначных чисел 4 220 851 и 2 594 209 каждую из семи цифр первого числа нужно умножить на каждую из семи цифр второго числа. Таким образом, общее время, необходимое для умножения (если операции выполняются последовательно), составит семью семь, или 49 микросекунд. Если на вход поданы числа примерно в десять раз большие, то есть содержащие по восемь цифр, на их умножения потребуется 64 микросекунды: увеличение составляет всего 31%.

Ясно, что числа из огромного диапазона — безусловно содержащего любые числа, которые когда-либо были измерены как количественные значения физических переменных, — можно перемножить за крошечную долю секунды. Таким образом, умножение действительно является легкорешаемой задачей для любых целей в пределах физики (или, по крайней мере, в пределах существующей физики). За пределами физики, конечно, могут появиться практические причины для умножения куда больших чисел. Например, для криптографии огромный интерес представляют произведения простых чисел, состоящих примерно из 125 цифр. Наша гипотетическая машина могла бы перемножить два таких простых числа, получив произведение, состоящее из 250 цифр, примерно за 0,01 секунды. За одну секунду она могла бы перемножить два тысячныхзначных числа, и современные компьютеры легко могут

улучшить это достижение. Лишь немногие исследователи эзотерических областей чистой математики интересуются перемножением столь непостижимо больших чисел, однако мы видим, что даже у них нет причины считать умножение неразрешимой задачей.

Напротив, *разложение на множители* — по сути, процесс, обратный умножению, — кажется гораздо сложнее. Вначале вводится одно число, скажем, 10 949 769 651 859. Задача заключается в том, чтобы найти два его множителя — меньших числа, произведение которых равно 10 949 769 651 859. Поскольку мы только что перемножили эти числа, мы знаем, что в данном случае ответ будет 4 220 851 и 2 594 209 (и поскольку оба эти числа простые, это единственный подходящий ответ). Но не располагая заранее такой подсказкой, как бы мы нашли эти множители? Если в поисках простого метода вы обратитесь к детским воспоминаниям, то это будет бесполезно, поскольку такого метода не существует.

Самый очевидный метод разложения на множители — делить вводимое число на все возможные множители, начиная с 2 и продолжая каждым нечетным числом, до тех пор, пока введенное число не разделится без остатка. По крайней мере, один из множителей (с учетом того, что введенное число не является простым) не может быть больше квадратного корня введенного числа, и это позволяет оценить, сколько времени может потребовать данный метод. В рассматриваемом случае наш компьютер найдет меньший из двух множителей, 2 594 209, примерно за секунду с небольшим. Однако если исходное число будет в десять раз больше, а его квадратный корень примерно в три раза больше, то разложение его на множители по этому методу займет в три раза больше времени. Другими словами, увеличение вводимого числа на один разряд уже *утроит* время обработки. Увеличение его еще на один разряд снова утроит это время и т. д. Таким образом, время обработки будет увеличиваться в геометрической прогрессии, т. е. экспоненциально, с увеличением количества разрядов в раскладываемом на множители числе. Разложение на множители числа с 25-значными множителями по этому методу заняло бы все компьютеры на Земле на несколько веков.

Этот метод можно усовершенствовать, однако *всем* современным методам разложения числа на множители присуще это свойство экспоненциального роста. Самое большое число, которое было «в гневе» (а это было действительно так) разложено на множители, — число, сомножители которого тайно выбрали одни математики, чтобы бросить вызов другим математикам, — имело 129 цифр¹. Разложение на множители выполнили с помощью сети Интернет глобальными совместными усилиями, в которых были задействованы тысячи компьютеров. Знаменитый специалист по алгоритмам Дональд Кнут² оценил, что разложение на множители 250-значного числа при использовании самых эффективных из известных методов, с помощью сети, состоящей из миллиона компьютеров, заняло бы более миллиона лет. Такие вещи трудно оценить, но даже если Кнут был чрезмерно пессимистичен, то нужно взять числа всего на несколько разрядов большие, и задача во много раз усложнится. Именно это мы имеем в виду, когда говорим, что разложение на множители больших чисел — труднорешаемая задача. Все это очень сильно отличается от умножения, где, как мы видели, операцию с парой 250-значных чисел можно выполнить на домашнем компьютере. Никто не может даже представить себе, как можно разложить на множители числа, состоящие из тысячи или миллиона цифр.

По крайней мере, никто не *мог* этого представить до недавнего времени.

В 1982 году физик Ричард Фейнман³ занимался компьютерным моделированием квантово-механических объектов. Его отправной

¹ По состоянию на 2009 г. удалось разложить на сомножители число из 232 десятичных (768 двоичных) цифр. Для этого потребовалось два года вычислений на нескольких сотнях компьютеров. — *Прим. ред.*

² Дональд Эрвин Кнут (род. 1938) — американский специалист в области информатики и математики, создатель научного направления анализа алгоритмов. Автор многотомного труда «Искусство программирования» (The Art of Computer Programming), представляющего собой энциклопедию алгоритмов. — *Прим. ред.*

³ Ричард Филлипс Фейнман (1918–1988) — выдающийся американский физик-теоретик и популяризатор науки, нобелевский лауреат (1965). Основные труды в области квантовой механики и квантовой электродинамики. — *Прим. ред.*

точкой было факт, известный уже в течение некоторого времени, важность которого, однако, еще не была оценена, а именно, что задача предсказания поведения квантово-механических систем (или, как мы можем это переформулировать — воспроизведения квантово-механических сред в виртуальной реальности) в общем случае является труднорешаемой. Одна из причин, по которой важность этого недооценивали, состояла в том, что никто и не ожидал особенно легкого предсказания интересных физических явлений с помощью компьютера. Возьмите, например, прогноз погоды или землетрясения. Несмотря на то что нужные уравнения известны, все знают, как трудно применять их в реальных ситуациях. В последнее время к этому привлекли широкое внимание в популярных книгах и статьях о хаосе и «эффekte бабочки». Но не эти эффекты ответственны за трудности, с которыми столкнулся Фейнман, по той простой причине, что они имеют место только в классической физике — то есть не в реальности, поскольку реальность квантово-механическая. Тем не менее я хочу сделать несколько замечаний относительно «хаотических» движений в классике, только чтобы подчеркнуть глубоко различный характер классической и квантовой непредсказуемости.

Теория хаоса касается ограничений на предсказуемость в классической физике, проистекающих из факта внутренней неустойчивости почти всех классических систем. «Неустойчивость», о которой идет речь, не имеет ничего общего с какой-либо тенденцией разрушительного поведения или распада. Она связана с чрезмерной чувствительностью к начальным условиям. Допустим, что нам известно текущее состояние какой-то физической системы, например, набора бильярдных шаров, катящихся по столу. Если бы система подчинялась законам классической физики, что она и делает с хорошим приближением, то мы смогли бы определить ее будущее поведение (скажем, попадет ли определенный шар в лузу) из соответствующих законов движения точно так же, как мы можем предсказать солнечное затмение или соединение планет, исходя из этих же законов. Но на практике мы никогда не можем абсолютно точно определить начальные положения и скорости. Таким образом, возникает вопрос: если мы знаем их с некоторой разумной

степенью точности, можем ли мы предсказать их будущее поведение с разумной степенью точности? И обычно ответ — не можем. Разница между реальной траекторией и предсказанной траекторией, вычисленной по слегка неточным данным, имеет тенденцию расти во времени экспоненциально и беспорядочно («хаотически»), так что через некоторое время первоначальное состояние, известное с небольшой погрешностью, уже совершенно ничего не будет говорить о поведении системы. Следствие для компьютерных предсказаний состоит в том, что движения планет, которые служат образцом классической предсказуемости, — это нетипичная классическая система. Для того чтобы предсказать поведение типичной классической системы даже через не очень большой промежуток времени, ее начальное состояние необходимо определить с недостижимо высокой точностью. Поэтому говорят, что, в принципе, бабочка, находящаяся в одном полушарии, взмахом своих крылышек может вызвать ураган в другом полушарии. Недостижимость точного прогноза погоды и тому подобное связывают поэтому с невозможностью учесть каждую бабочку на планете.

Однако реальные ураганы и реальные бабочки подчиняются не классической механике, а квантовой теории. Неустойчивость, быстро увеличивающая небольшие неточности задания классического начального состояния, просто не является чертой квантово-механических систем. В квантовой механике небольшие отклонения от точно определенного начального состояния имеют тенденцию вызывать всего лишь небольшие отклонения от предсказанного конечного состояния. А точное предсказание сделать сложно из-за совсем другого эффекта.

Законы квантовой механики требуют, чтобы объект, который первоначально находится в определенном положении (во всех вселенных), «растекался» по мультиверсу. Например, фотон и его партнеры из других вселенных отправляются из одной и той же точки светящейся нити накала, но затем движутся в триллионах различных направлений. Когда мы позднее проводим измерение того, что произошло, мы тоже становимся отличными друг от друга, так как каждая наша копия видит то, что произошло в ее конкретной вселенной. Если рассматриваемым объектом является атмо-

сфера Земли, то ураган может произойти, скажем, в 30% вселенных и не произойти в остальных 70%. Субъективно мы воспринимаем это как единственный непредсказуемый или «случайный» результат, хотя, если принять во внимание существование мультиверса, все результаты действительно имели место. Эта множественность параллельных вселенных и есть настоящая причина непредсказуемости погоды. Наша неспособность точно измерить начальные состояния тут абсолютно ни при чем. Даже знай мы начальные состояния точно, множественность, а, следовательно, и непредсказуемость движения, все равно имела бы место. С другой стороны, в отличие от классического случая, поведение воображаемого мультиверса с немного отличными начальными состояниями не слишком отличалось бы от поведения реального мультиверса: он мог пострадать от урагана в 30,000001% своих вселенных и не пострадать в оставшихся 69,999999%.

В действительности крылья бабочек не вызывают ураганов, потому что классическое явление классического хаоса требует абсолютного детерминизма, которого не бывает ни в какой отдельной вселенной. Рассмотрим группу идентичных вселенных в тот момент, когда в каждой из них конкретная бабочка взмахнула крыльшками вверх. Рассмотрим вторую группу вселенных, которая в этот же самый момент идентична первой за исключением того, что в ней крыльшки бабочки опущены вниз. Подождем несколько часов. Квантовая механика предсказывает, что, если не возникнут исключительные обстоятельства (например, кто-нибудь, наблюдающий за бабочкой, не нажмет кнопку, чтобы взорвать ядерную бомбу при взмахе ее крыльшек), эти две группы вселенных, практически идентичные друг другу в начале, так и останутся практически идентичными. Но каждая группа внутри самой себя становится сильно дифференцированной. Каждая группа включает вселенные с ураганами, вселенные без ураганов и даже очень маленькое количество вселенных, в которых бабочка спонтанно изменила свою видовую принадлежность из-за случайной перестановки всех ее атомов, или Солнце взорвалось из-за того, что все его атомы случайно направились к его центру, где идет ядерная реакция. И все же две группы все еще очень похожи друг на друга.

Во вселенных, где бабочка взмахнула крылышками вверх и случились ураганы, эти ураганы действительно были непредсказуемы; но они произошли не из-за бабочки, поскольку почти идентичные ураганы произошли в других вселенных, где все было тем же самым, кроме того, что крылышки бабочки были опущены вниз.

Возможно, стоит подчеркнуть различие между *непредсказуемостью* и *труднорешаемостью*. Непредсказуемость никак не связана с имеющимися вычислительными ресурсами. Классические системы непредсказуемы (или были бы таковыми, если бы существовали) из-за их чувствительности к начальным условиям. Квантовые системы не обладают такой чувствительностью, но они непредсказуемы, потому что в различных вселенных ведут себя по-разному, и поэтому в большинстве вселенных кажутся случайными. Ни в первом, ни во втором случае никакой объем вычислений не уменьшит непредсказуемость. Труднорешаемость, напротив, является вопросом вычислительных ресурсов. Она относится к ситуации, когда мы с легкостью могли бы сделать предсказание, если бы только могли выполнить необходимые вычисления, но мы не можем их выполнить, потому что требуются нереально большие ресурсы. Чтобы отделить проблемы непредсказуемости от проблем нерешаемости в квантовой механике, мы должны принять, что квантовые системы в принципе предсказуемы.

Квантовую теорию часто представляют как дающую только вероятностные предсказания. Например, в эксперименте с интерференцией на светонепроницаемой перегородке со щелями, описанном в главе 2, можно обнаружить, что фотон попал в любое место на «светлом» участке картины теней. Однако важно понимать, что для множества других экспериментов квантовая теория предсказывает единственный определенный результат. Другими словами, она предсказывает, что во всех вселенных исход будет одним и тем же, даже если на промежуточных стадиях эксперимента эти вселенные отличались друг от друга, и она предсказывает, каким будет этот результат. В таких случаях мы наблюдаем явление *неслучайной интерференции*. Такие явления может продемонстрировать интерферометр. Это оптический инструмент, состоящий главным образом из зеркал, как обычных (рис. 9.1),

так и полупрозрачных (какие используются в фокусах иллюзионистов и в полицейских участках, рис. 9.2). Если фотон падает на полупрозрачное зеркало, то в половине вселенных он отскакивает от него точно так же, как отскочил бы от обычного зеркала. Однако в другой половине вселенных он проходит сквозь это зеркало, словно его нет.

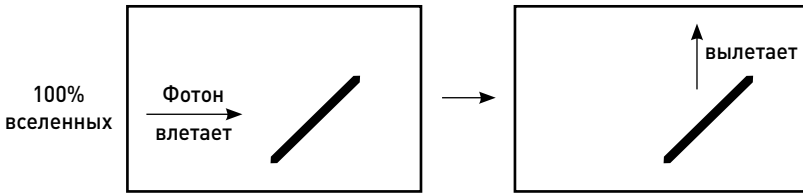


Рис. 9.1. Действие обычного зеркала одинаково во всех вселенных

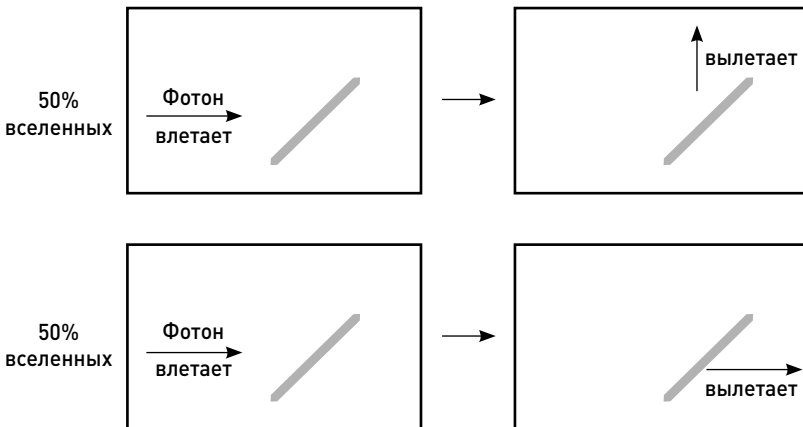


Рис. 9.2. Полупрозрачное зеркало заставляет первоначально идентичные вселенные разделиться на две равные группы, которые отличаются только траекторией движения одного фотона

Один фотон входит в интерферометр сверху слева, как показано на рис. 9.3. Во всех вселенных, где проводят эксперимент, фотон и его партнеры движутся к интерферометру по одной и той же траектории. Следовательно, эти вселенные идентичны. Но как только фотон попадает на полупрозрачное зеркало, первоначально иден-

тичные вселенные становятся различными. В половине из них фотон проходит через зеркало и движется вправо вдоль верхней стороны интерферометра. В остальных вселенных фотон отражается от зеркала и идет вниз вдоль левой стороны интерферометра. Затем эти варианты фотона в разных группах вселенных попадают в обычные зеркала справа сверху и слева снизу соответственно и отражаются от них. Таким образом, в конце они одновременно попадают на полупрозрачное зеркало справа снизу и интерферируют друг с другом. Не забывайте, что мы запускали в аппарат только один фотон, и в каждой вселенной по-прежнему находится только один фотон. Во всех вселенных этот фотон теперь попал в правое нижнее зеркало. В половине вселенных он подошел к этому зеркалу слева, в другой половине — сверху. Между разновидностями фотона из этих двух групп вселенных произошла сильная интерференция. Суммарный эффект зависит от точной геометрии ситуации, но на рис. 9.3 изображен тот случай, когда во всех вселенных фотон в конце движется вправо сквозь зеркало, и ни в одной вселенной он не проходит и не отражается вниз. Таким образом, в конце эксперимента все вселенные так же идентичны, как и в начале. Они отличались и интерферировали друг с другом лишь краткую долю секунды в промежуточном состоянии.

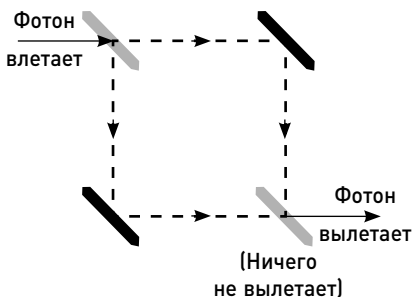


Рис. 9.3. Один фотон, проходящий через интерферометр.

Положение зеркал (обычные зеркала показаны черным цветом, полупрозрачные — серым) можно отрегулировать так, что интерференция между двумя вариантами фотона (из разных вселенных) заставит оба варианта двигаться к выходу по одной и той же траектории от нижнего полупрозрачного зеркала

Это замечательное явление неслучайной интерференции — почти такое же неизбежное свидетельство существования мультиверса, как и картина теней. Так происходит из-за того, что описанный мной результат несовместим *ни с одной* из двух возможных траекторий движения частицы в одной вселенной. Если мы, например, направим фотон, идущий вправо вдоль нижнего плеча интерферометра, он *может* пройти сквозь второе полупрозрачное зеркало, как и в эксперименте с интерференцией фотона. Но может и не пройти — иногда он будет отклоняться вниз. Точно так же фотон, идущий вниз, вдоль правого плеча интерферометра, может отклониться вправо, как в эксперименте с интерференцией, или просто пройти прямо вниз. Таким образом, на какую бы траекторию вы ни направили один фотон *внутри* аппарата, направление его выхода будет случайным. Результат можно предсказать только в том случае, когда между двумя траекториями произойдет интерференция. Следовательно, непосредственно перед окончанием эксперимента с интерференцией в аппарате присутствует нечто, что не может быть одним фотоном на одной траектории: например, это не может быть просто фотон, который перемещается вдоль нижнего плеча интерферометра. Там должно быть нечто еще, что мешает ему отразиться вниз. Там не может быть и просто фотон, который перемещается вдоль правого плеча интерферометра; там должно быть нечто еще, что мешает ему двигаться прямо вниз, как это могло бы произойти в некоторых случаях, если бы он был там один. Как и в случае с тенями, можно придумать другие эксперименты, показывающие, что это «нечто еще» обладает всеми свойствами фотона, который перемещается вдоль другой траектории и интерферирует с видимым нами фотоном, но ни с чем другим в нашей Вселенной.

Поскольку в этом опыте присутствуют только два различных вида вселенных, вычисление того, что произойдет, займет всего в два раза больше времени, чем в случае, если бы частица подчинялась классическим законам — скажем, если бы мы вычисляли траекторию движения бильярдного шара. Вряд ли коэффициент два превратит такую вычислительную задачу в труднорешаемую. Однако мы уже видели, что довольно легко достичь и гораздо бо-

лее высокой степени многообразия. В экспериментах с тенями один фотон проходит через перегородку с несколькими маленькими отверстиями и попадает на экран. Предположим, что в перегородке тысяча отверстий. На экране есть места, куда может попасть фотон (и *попадает* в некоторых вселенных), и места, куда он попасть не может. Чтобы вычислить, может ли конкретная точка экрана принять фотон или нет, мы должны вычислить эффекты взаимной интерференции вариантов фотона из тысячи параллельных вселенных. В частности, мы должны вычислить тысячу траекторий движения фотона от перегородки до данной точки экрана, затем вычислить влияния этих фотонов друг на друга так, чтобы определить, не помешают ли все они друг другу достигнуть этой точки. Таким образом, мы должны выполнить примерно в тысячу раз больше вычислений, чем нам пришлось бы, если бы мы определяли, попадет ли в конкретную точку классическая частица.

Сложность такого рода вычислений показывает нам, что в квантово-механической среде происходит гораздо больше, чем (в буквальном смысле) видит глаз. И я утверждал, ссылаясь на критерий реальности д-ра Джонсона в применении к вычислительной сложности, что эта самая сложность — основная причина, по которой бессмысленно отрицать существование оставшейся части мультиверса. Но возможны гораздо более высокие степени многообразия, когда в интерференцию вовлекаются две взаимодействующие частицы или больше. Допустим, что для каждой из двух взаимодействующих частиц открыта, скажем, тысяча траекторий. Тогда эта пара на промежуточном этапе эксперимента может оказаться в миллионе различных состояний, так что может быть до миллиона вселенных, различающихся поведением этой *пары* частиц. Если взаимодействуют три частицы, то количество различных вселенных может увеличиться до миллиарда; четыре частицы — до триллиона и т. д. Таким образом, количество различных историй, которые нам пришлось бы вычислить, если бы мы захотели предсказать то, что произойдет в таких случаях, увеличивается экспоненциально с ростом числа взаимодействующих частиц. Именно поэтому задача вычисления поведения типичной квантовой системы является труднорешаемой в полном смысле этого слова.

Именно этим — труднорешаемостью — и занимался Фейнман. Мы видим, что она не имеет ничего общего с непредсказуемостью: напротив, наиболее ясно она проявляется в квантовых явлениях с высокой степенью предсказуемости. Так происходит потому, что в таких явлениях один и тот же определенный результат имеет место во всех вселенных, однако этот результат — итог интерференции между огромным количеством вселенных, которые в процессе эксперимента отличались друг от друга. Все это в принципе предсказуемо на основе квантовой теории и не слишком чувствительно к начальным условиям. *Предсказать*, что в таких экспериментах результат всегда будет одним и тем же, становится трудно потому, что для этого необходимо выполнить чрезмерно большой объем вычислений.

Труднорешаемость в принципе является гораздо бóльшим препятствием для универсальности, чем могла бы быть непредсказуемость. Я уже говорил, что при абсолютно точном воспроизведении рулетки не нужно (а в действительности и не должно быть!), чтобы выдаваемая ею последовательность чисел совпадала с реальной. Подобным образом мы не можем заранее подготовить воспроизведение завтрашней погоды в виртуальной реальности. Но мы можем (или однажды сможем) осуществить воспроизведение *погоды*, которая хотя и не будет такой же, как реальные условия, имевшие место в какой-то исторический день, но тем не менее будет вести себя столь реалистично, что ни один пользователь, каким бы экспертом он ни был, не сможет отличить ее от настоящей погоды. То же самое касается и любой среды, которая не проявляет эффектов квантовой интерференции (что означает большинство сред). Воспроизведение такой среды в виртуальной реальности — легкая вычислительная задача. Однако оказалось, что нет эффективного способа воспроизведения сред, в которых проявляются эффекты квантовой интерференции. Без выполнения экспоненциально больших объемов вычислений как убедиться, что в этих случаях воспроизводимая нами среда не будет демонстрировать такого поведения, которого никогда не бывает в реальной среде из-за какого-нибудь явления интерференции?

Может показаться естественным вывод о том, что реальность все-таки не показывает подлинной вычислительной универсально-

сти, поскольку явление интерференции невозможно воспроизвести с разумными затратами. Однако Фейнман сделал противоположный вывод и был совершенно прав! Вместо того чтобы считать труднорешаемость задачи воспроизведения квантовых явлений препятствием, Фейнман счел ее благоприятной возможностью. Если для того, чтобы узнать исход эксперимента с интерференцией, необходимо выполнить так много вычислений, то сам факт проведения такого эксперимента и измерения его результатов равносильно выполнению сложного вычисления. Таким образом, рассуждал Фейнман, наверное, эффективно воспроизводить квантовые среды все-таки возможно, если позволить компьютеру проводить эксперименты над реальным квантово-механическим объектом. Компьютер выбрал бы, какие измерения сделать на вспомогательной составляющей квантового оборудования во время проведения эксперимента, и включил бы результаты этих измерений в свои вычисления.

Эта вспомогательная квантовая аппаратура, в сущности, тоже была бы компьютером! Например, в качестве такого устройства мог бы работать интерферометр, и, как любой другой физический объект, его можно было бы считать компьютером. Сегодня мы назвали бы его *специализированным квантовым компьютером*. Мы «программируем» его, устанавливая зеркала так, чтобы создать определенную геометрию, и затем направляем один фотон на первое зеркало. В эксперименте с неслучайной интерференцией фотон всегда выйдет в одном конкретном направлении, определяемом установкой зеркал, и мы можем интерпретировать это направление как выдачу результата вычислений. В более сложном эксперименте с несколькими взаимодействующими частицами такое вычисление запросто могло бы, как я уже объяснил, стать «труднорешаемым». Но поскольку мы можем получить результаты, просто проведя этот эксперимент, значит, его все-таки нельзя назвать действительно трудным. Нам теперь следует быть осторожнее в вопросах терминологии. Очевидно, что существуют вычислительные задачи, «труднорешаемые», если пытаться справиться с ними на любом существующем компьютере, но переходящие в разряд легкорешаемых, если в качестве специализированных компьюте-

ров мы могли бы использовать квантово-механические объекты. (Обратите внимание, что возможность использования квантовых явлений для выполнения вычислений подобным образом обусловлена тем, что эти явления не подвержены хаосу. Если бы результат вычислений был функцией, чрезмерно чувствительной к начальному состоянию, «запрограммировать» такое устройство, установив его в подходящее начальное состояние, было бы невыполнимой задачей.)

Такое использование вспомогательного квантового устройства можно было бы посчитать жульничеством, так как очевидно, что *любую* среду гораздо проще создать, имея доступ к ее запасной копии для проведения измерений во время воспроизведения! Однако Фейнман предположил, что нет необходимости в использовании точной копии воспроизводимой среды: можно найти вспомогательное устройство, конструкция которого гораздо проще, но интерференционные свойства тем не менее будут аналогичны свойствам воспроизводимой среды. Оставшуюся часть работы способен осуществить обычный компьютер, опираясь на аналогию между вспомогательным устройством и воспроизводимой средой. Фейнман ожидал, что эта задача будет легкорешаемой. Более того, он предполагал — как оказалось, правильно, — что все квантово-механические свойства любой воспроизводимой среды можно смоделировать с помощью вспомогательных устройств конкретного вида, который он указал (а именно, совокупности вращающихся атомов, каждый из которых взаимодействует со своими соседями). Он назвал весь класс таких устройств *универсальным квантовым симулятором*.

Однако этот симулятор не является отдельной машиной, что необходимо для признания его универсальным компьютером. Взаимодействия, которым должны были бы подвергнуться атомы симулятора, нельзя было задать раз и навсегда, как в универсальном компьютере, их нужно было переустраивать для каждой воспроизводимой среды. Однако суть универсальности состоит в том, что должна быть возможность запрограммировать отдельную машину, точно определенную раз и навсегда, для выполнения любого возможного вычисления или воспроизведения любой возможной

среды. В 1985 году я доказал, что в рамках квантовой физики существует *универсальный квантовый компьютер*. Это доказательство было абсолютно прямым. Все, что мне пришлось сделать, — это симитировать построения Тьюринга, но воспользоваться квантовой теорией для определения лежащей в их основе физики, а не классической механикой, которую неявно предполагал Тьюринг. Универсальный квантовый компьютер может выполнить любое вычисление, которое может выполнить любой другой квантовый компьютер (или любой компьютер Тьюринга), а также воспроизвести любую конечную физически возможную среду в виртуальной реальности. Более того, с тех пор было показано, что время и остальные ресурсы, которые ему понадобятся для осуществления всего этого, не будут увеличиваться экспоненциально с ростом размеров или детальности воспроизводимой среды, так что соответствующие задачи будут легко решаемыми по критериям теории сложности.

Классическая теория вычислений, которая в течение полувека оставалась неоспоримым фундаментом обработки данных, сейчас устарела, но, как и остальная классическая физика, может использоваться в качестве приближенной схемы. Современной теорией вычислений является квантовая теория вычислений. Я сказал, что Тьюринг в своих построениях неявно использовал «классическую механику». Но, оглядываясь назад с уровня современных зрений, мы видим, что даже классическая теория вычислений не полностью соответствовала классической физике и содержала существенные признаки квантовой теории. Это вовсе не совпадение, что слово *бит*, означающее наименьшее возможное количество информации, которым способен управлять компьютер, в сущности, означает то же самое, что и *квант*, — дискретную порцию. Дискретные переменные (переменные, которые не могут принимать значения из непрерывного диапазона) чужды классической физике. Например, если переменная имеет только два возможных значения, скажем, 0 и 1, как она вообще переходит из 0 в 1? (Я задавал этот вопрос в главе 2.) В классической физике ей пришлось бы совершить прыжок, нарушив непрерывность, что несовместимо с тем, как работают силы и происходят движения в классической механике. В квантовой физике нет необходимости в скачкообраз-

ном изменении — несмотря на то, что все измеримые величины дискретны. Вот как это устроено.

Для начала давайте представим несколько параллельных вселенных, сложенных подобно колоде карт, причем вся колода в целом представляет собой мультиверс. (Такая модель, в которой вселенные располагаются последовательно, сильно преуменьшает сложность мультиверса, но она вполне достаточна, чтобы проиллюстрировать мою мысль.) Теперь давайте изменим эту модель, приняв во внимание тот факт, что мультиверс — это не дискретный набор вселенных, а континуум, и то, что не все вселенные различны. В действительности для каждой вселенной, которая там присутствует, также существует континуум идентичных вселенных, составляющий некую небольшую, но отличную от нуля долю мультиверса. В нашей модели эту долю можно представить через толщину карты, причем каждая карта теперь представляет все вселенные данного типа. Однако, в отличие от толщины карты, доля каждого типа вселенных изменяется со временем в соответствии с квантовомеханическими законами движения. Следовательно, доля вселенных, обладающих данным свойством, тоже изменяется, причем это изменение происходит непрерывно. В случае с дискретной переменной, которая переходит из 0 в 1, допустим, что до начала изменения эта переменная во всех вселенных имеет значение 0, а после изменения она принимает значение 1 тоже во всех вселенных. В процессе изменения доля вселенных, в которых значение равно 0, постепенно уменьшается от 100% до нуля, а доля вселенных, где это значение равно 1, соответственно растет от нуля до 100%. На рис. 9.4 показано, как выглядит подобное изменение с точки зрения мультиверса.

Из рис. 9.4 может показаться, что, хотя переход от 0 к 1 является объективно непрерывным с точки зрения мультиверса, он остается субъективно скачкообразным для любой отдельной вселенной — представленной, скажем, горизонтальной линией в середине рис. 9.4. Однако это всего лишь ограничение способа представления, а не реальная характеристика того, что происходит на самом деле. Хотя диаграмма выглядит так, словно в каждое мгновение существует конкретная вселенная, которая «только что изменилась»

из 0 в 1, потому что она только что «пересекла границу», на самом деле это не так. Так быть не может, потому что такая вселенная строго идентична любой другой вселенной, в которой бит в данный момент имеет значение 1. Поэтому если бы жители одной из них испытывали скачкообразное изменение, то жители всех других испытывали бы то же самое. Значит, ни одна из них такого испытывать не может. Обратите также внимание, что, как я объясню в главе 11, идея о чем-то, *движущемся* по такой диаграмме, как на рис. 9.4, где уже представлено время, просто ошибочна. В каждое мгновение бит имеет значение 1 в определенной доле вселенных и 0 — в другой. Все эти вселенные во все эти времена уже показаны на рис. 9.4. Они никуда не движутся!

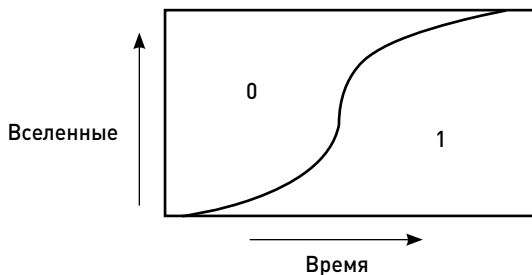


Рис. 9.4. Взгляд на непрерывное изменение бита от 0 до 1 с точки зрения мультиверса

Еще один показатель неявного присутствия квантовой физики в классических вычислениях — то, что все варианты практической реализации компьютеров типа Тьюринга зависят от таких вещей, как твердое вещество или намагниченные материалы, которые не могли бы существовать в отсутствие квантово-механических эффектов. Например, любое твердое тело состоит из совокупности атомов, которые, в свою очередь, состоят из электрически заряженных частиц (электронов, а также протонов в ядре). Но из-за классического хаоса ни одна совокупность заряженных частиц не могла бы оставаться устойчивой при классических законах движения. Положительно и отрицательно заряженные частицы просто сорвались бы со своих мест и столкнулись друг с другом, и вся конструк-

ция разрушилась бы. Только сильная квантовая интерференция между различными траекториями движения заряженных частиц в параллельных вселенных предотвращает такие катастрофы и делает возможным существование твердого вещества.

Создание универсального квантового компьютера выходит далеко за рамки современной технологии. Как я уже сказал, чтобы обнаружить явление интерференции, нужно вызвать соответствующее взаимодействие *всех* переменных, которые различались во вселенных, вносящих вклад в интерференцию. Чем больше взаимодействующих частиц участвует, тем сложнее организовать взаимодействие, которое продемонстрировало бы интерференцию, то есть результат вычисления. Среди множества технических сложностей работы на уровне одного атома или электрона одна из важнейших состоит в ограждении среды от воздействия различных интерферирующих субвычислений. Дело в том, что если группа атомов участвует в явлении интерференции и эти атомы по-разному воздействуют на другие атомы окружающей среды, то интерференцию уже невозможно обнаружить по измерениям только исходной группы, и эта группа уже не выполняет какого бы то ни было полезного квантового вычисления. Это называется *декогеренцией*. Следует добавить, что эту проблему часто представляют в ложном свете: нам говорят, что квантовая интерференция — очень чувствительный процесс, и его следует ограждать от любых внешних воздействий. Но это не так. Внешние воздействия способны вызвать небольшие погрешности, но именно воздействие квантового вычисления на внешний мир вызывает декогеренцию.

Таким образом, ставка делается на создание субмикроскопических систем, в которых несущие информацию переменные взаимодействуют друг с другом, но как можно меньше влияют на свою среду. Еще одно новое упрощение, уникальное для квантовой теории вычисления, частично компенсирует сложности, вызываемые декогеренцией. Оказывается, что, в отличие от классического вычисления, где необходимо конструировать особые классические логические элементы, такие как И, ИЛИ и НЕ, в квантовом случае конкретная форма взаимодействий вряд ли имеет значение. В сущности, почти любую систему взаимодействующих битов атомного

масштаба, если она не декогерирует, можно приспособить для выполнения полезных квантовых вычислений.

Известны интерференционные явления, включающие огромное число частиц, например, сверхпроводимость или сверхтекучесть, но кажется, что ни одно из них невозможно использовать для выполнения каких-либо интересных вычислений. Во время написания этой книги в лаборатории можно было легко выполнить только однобитовые квантовые вычисления. Однако экспериментаторы уверены, что в течение нескольких последующих лет будут созданы двух- и более битовые *квантовые логические элементы* (квантовые эквиваленты классических логических элементов). Это основные составляющие квантовых компьютеров. Некоторые физики, особенно Рольф Ландауэр¹ из IBM Research, настроены пессимистично относительно перспектив дальнейшего продвижения после этого. Они полагают, что декогеренция никогда не будет сведена до того уровня, при котором можно выполнить более нескольких последовательных шагов квантового вычисления. Большинство исследователей в этой области настроены гораздо оптимистичнее (хотя, возможно, это связано с тем, что над квантовыми вычислениями решаются работать только очень большие оптимисты!). Уже были построены некоторые специализированные квантовые компьютеры (речь о них пойдет дальше), и лично я думаю, что появление более сложных квантовых компьютеров — скорее дело нескольких лет, чем десятилетий. Что касается универсального квантового компьютера, то я считаю, что его создание — это тоже лишь дело времени, хотя мне не хотелось бы предсказывать, сколько времени это займет: десятилетия или века.

Тот факт, что репертуар универсального квантового компьютера содержит среды, воспроизведение которых является труднорешае-

¹ Рольф Уильям Ландауэр (Rolf William Landauer, 1927–1999) — американский физик немецкого происхождения, работавший в области физики конденсированных сред, проводимости и термодинамики обработки информации. В 1961 г. открыл принцип Ландауэра, в соответствии с которым при выполнении логически необратимой операции с информацией происходит увеличение энтропии и рассеяние соответствующего количества энергии в виде тепла. — *Прим. ред.*

мым в классическом смысле, говорит о том, что новые классы чисто математических вычислений тоже должны стать легкорешаемыми на этом компьютере, потому что законы физики, как сказал Галилей, выражаются на языке математики, а воспроизведение среды эквивалентно вычислению определенных математических функций. Действительно, в настоящее время обнаружено множество математических задач, которые можно было бы эффективно решить с помощью квантовых вычислений, тогда как для всех известных классических методов они являются труднорешаемыми. Наиболее впечатляющей из этих задач является задача разложения на множители больших чисел. В 1994 году Питер Шор, работавший в Bell Laboratories, открыл метод, известный как *алгоритм Шора*. (Пока американское издание этой книги готовилось к печати, были открыты другие впечатляющие квантовые алгоритмы, включая *алгоритм Гровера* для очень быстрого поиска в длинных списках.)

Алгоритм Шора чрезвычайно прост и довольствуется гораздо более скромной аппаратурой, чем та, которая понадобилась бы для универсального квантового компьютера. А потому вероятно, что *квантовое устройство для разложения на множители* будет построено задолго до того, как станет технологически осуществимым весь спектр квантовых вычислений. Эта перспектива имеет грандиозное значение для *криптографии* (науки о секретной передаче информации и установлении ее подлинности). Реальные сети связи могут быть глобальными и иметь огромные, постоянно изменяющиеся наборы участников с непредсказуемыми схемами связи. Непрактично требовать, чтобы каждая пара участников заранее физически обменивалась секретными шифровальными ключами, которые позволили бы им позднее общаться, не боясь, что их подслушают. *Криптография с открытым ключом* — это любой метод отправки секретной информации, при котором ни отправитель, ни получатель не обменивались до этого никакой секретной информацией. Самый надежный из известных методов криптографии с открытым ключом основан на труднорешаемости задачи разложения на множители больших чисел. Этот метод известен как криптосистема RSA, которая получила свое название по первым буквам фамилий Рональда Ривеста, Ади Шамира и Леонарда

Адельмана, впервые предложивших ее в 1978 году. Она полагается на математическую процедуру, посредством которой можно закодировать сообщение, используя в качестве ключа огромное (скажем, 250-значное) число. Получатель может свободно обнародовать этот ключ для использования всеми отправителями, потому что любое сообщение, зашифрованное с его помощью, можно расшифровать, только зная сомножители этого числа. Таким образом, я могу выбрать два 125-значных простых числа и хранить их в секрете, но перемножить их и сообщить всем их 250-значное произведение. Кто угодно может послать мне сообщение, используя это число как ключ, но только я смогу прочитать эти сообщения, потому что только мне известны секретные множители.

Как я уже сказал, не существует практической возможности разложения на множители 250-значного числа с использованием классических средств. Но квантовое устройство разложения на множители, работающее по алгоритму Шора, могло бы это сделать, выполнив всего несколько тысяч арифметических операций, что, возможно, было бы минутным делом. Таким образом, любой человек, имеющий доступ к такой машине, смог бы легко прочитать любое перехваченное сообщение, зашифрованное с помощью криптосистемы RSA.

Криптографам не помогло бы использование более длинных чисел в качестве ключей, потому что ресурсы, необходимые для работы алгоритма Шора, очень медленно увеличиваются с ростом раскладываемого на множители числа. В квантовой теории вычислений разложение на множители — очень легкорешаемая задача. Считается, что при данном уровне декогеренции все же снова появится некий практический предел размера числа, которое можно разложить на множители, но неизвестен нижний предел технологически достижимой скорости декогеренции. Поэтому мы должны сделать вывод, что однажды в будущем, во время, которое сейчас невозможно предсказать, криптосистема RSA с любой заданной длиной ключа может стать ненадежной. В определенном смысле это делает ее ненадежной даже сегодня. Ведь люди или организации, которые сейчас перехватывают сообщения, закодированные в системе RSA, и дождутся того времени, когда смогут купить квантовое устройство разложения на множители с достаточно низкой

декогеренцией, сумеют расшифровать эти сообщения. Возможно, это произойдет только через века, возможно, всего через несколько десятилетий, а может, и еще раньше — кто знает? Но вероятность того, что это случится еще не скоро, — это все, что теперь осталось от бывшей абсолютной надежности системы RSA.

Когда квантовое устройство разложения на множители раскладывает 250-значное число, количество интерферирующих вселенных будет порядка 10^{500} , т.е. десять в степени 500. Это ошеломляюще огромное число — причина того, почему алгоритм Шора делает разложение на множители легкорешаемой задачей. Я сказал, что этот алгоритм требует выполнения всего нескольких тысяч арифметических операций. Безусловно, я имел в виду несколько тысяч операций *в каждой вселенной*, которая вносит вклад в ответ. Все эти вычисления выполняются параллельно в различных вселенных и делятся своими результатами через интерференцию.

Возможно, вам интересно, как мы сможем убедить своих партнеров из 10^{500} или около того вселенных начать работать над нашей задачей разложения на множители. Разве у них нет своих собственных задач, чтобы задействовать компьютеры? Нет — и нам не нужно их убеждать. Алгоритм Шора изначально действует только в наборе вселенных, *идентичных* друг другу, и вызывает в них отличия только в пределах устройства разложения на множители. Поэтому мы, указавшие число, которое нужно разложить на множители, и ждущие ответа, идентичны во всех интерферирующих вселенных. Несомненно, существует много других вселенных, в которых мы задали другие числа или вообще не построили устройства разложения на множители. Но эти вселенные отличаются от нашей слишком большим количеством переменных — или, точнее, переменными, которые не настроены для правильного взаимодействия посредством запрограммированного алгоритма Шора, — и потому они не интерферируют с нашей Вселенной.

Рассуждения, приведенные в главе 2, будучи применены к любому явлению интерференции, разрушают классическую идею о единственности Вселенной. Логически возможность сложных квантовых вычислений ничего не добавляет к вопросу, на который уже нельзя ответить иначе. Но эта возможность оказывает

дополнительное психологическое влияние. Алгоритм Шора очень сильно повышает убедительность этих рассуждений. Для тех, кто все еще склонен считать, что существует лишь одна Вселенная, я предлагаю следующий вызов: *объясните, как работает алгоритм Шора*. Я имею в виду не предсказание, каковы будут результаты его работы, поскольку для этого достаточно решить несколько непротиворечивых уравнений. Я прошу вас дать объяснение. Когда алгоритм Шора разлагает на множители число, задействовав примерно в 10^{500} больше вычислительных ресурсов, чем те, что можно увидеть воочию, — где же это число раскладывается на множители?

Во всей видимой Вселенной существует всего около 10^{80} атомов — число ничтожно малое по сравнению с 10^{500} . Таким образом, если бы видимая Вселенная была пространством физической реальности, физическая реальность даже отдаленно не содержала бы ресурсов, достаточных для разложения на множители такого большого числа. Кто же тогда разложил его на множители? Как и где выполнялись вычисления?

Я говорил о традиционных типах математических задач, которые квантовые компьютеры смогли бы выполнить быстрее существующих машин. Но для квантовых компьютеров открыт и дополнительный класс новых задач, которые ни один классический компьютер не способен решить вообще. По странному совпадению, одна из первых найденных задач такого типа также была связана с криптографией с открытым ключом. На этот раз она состояла не во «взломе» существующей системы, а в реализации новой абсолютно надежной системы *квантовой криптографии*. В 1989 году в компании IBM Research в Йорктаун-Хайтс, штат Нью-Йорк, в кабинете теоретика Чарльза Беннетта был построен первый рабочий квантовый компьютер. Это был специализированный квантовый компьютер, состоящий из двух квантовых криптографических устройств, спроектированных Беннеттом и Жиллем Brassаром из Университета Монреаля. Этот компьютер стал первой машиной, выполнившей нетривиальные вычисления, которые не смогла бы выполнить ни одна машина Тьюринга.

В квантовой криптосистеме Беннетта и Brassара послания кодируются состояниями отдельных фотонов, испускаемых лазером. Несмотря на то что для передачи сообщения необходимо много

фотонов (один фотон на бит и намного больше фотонов, которые теряются на всевозможные неэффективности), такие машины можно построить, используя существующую технологию, потому что для выполнения своих квантовых вычислений им необходим только один фотон в каждый момент времени. Надежность системы основана не на труднорешаемости, как классической, так и квантовой, а непосредственно на свойствах квантовой интерференции: именно она дает этой системе абсолютную надежность, которую невозможно обеспечить с помощью классических методов. Никакой объем будущих вычислений ни на каком компьютере через миллионы или триллионы лет не поможет тому, кто хотел бы подслушать послания, закодированные квантовым методом, потому что если кто-либо общается через среду, проявляющую интерференцию, то *он сможет обнаружить подслушивающих его людей*. В соответствии с классической физикой ничто не может помешать подслушивающему, который имеет физический доступ к среде связи, например, к телефонной линии, установить пассивное подслушивающее устройство. Но, как я уже объяснил, если кто-либо осуществляет любое измерение квантовой системы, он изменяет ее последующие интерференционные свойства. На этом явлении и основан протокол связи. Связывающиеся стороны, по сути, ставят повторяющиеся эксперименты по интерференции, согласуя их через общедоступный канал связи. Только когда интерференция пройдет проверку на отсутствие подслушивающих, они переходят к следующей стадии протокола, состоящей в том, чтобы использовать некоторую часть переданной информации в качестве криптографического ключа. В худшем случае упорный шпион может совсем не дать коммуникации состояться (хотя, безусловно, этого проще достичь, перерезав телефонный кабель). Но что касается чтения сообщения, это может сделать только получатель, для которого оно предназначено, и гарантией тому являются законы физики.

Поскольку квантовая криптография зависит от манипулирования отдельными фотонами, она подвержена существенным ограничениям. Каждый последовательно получаемый фотон, переносящий один бит сообщения, должен быть каким-то образом передан невредимым от отправителя к получателю. Но любой метод пере-

дачи связан с потерями, и если они слишком большие, послание никогда не дойдет до своего адресата. Установка ретрансляционных станций (стандартная мера для устранения этой проблемы в существующих системах связи) подвергла бы риску секретность, потому что подслушивающий мог бы наблюдать за тем, что происходит внутри ретрансляционной станции, не будучи обнаруженным. Лучшие из существующих квантово-криптографических систем используют оптико-волоконные кабели и имеют дальность около десяти километров. Этого было бы достаточно, чтобы обеспечить, скажем, экономический центр города абсолютно надежной внутренней связью. Возможно, недалеки и коммерческие системы, но чтобы решить проблему криптографии с открытым ключом в общем случае (скажем, для глобальной связи), необходимы дальнейшие шаги в квантовой криптографии¹. Экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых вычислений набирают темп во всем мире. Предлагают все более перспективные новые технологии реализации квантовых компьютеров и постоянно открывают и анализируют новые типы квантовых вычислений с различными преимуществами перед классическими вычислениями. Я считаю эти разработки совершенно захватывающими и думаю, что некоторые из них принесут технологические плоды. Но для этой книги данный вопрос стал бы отклонением от темы. С фундаментальной точки зрения не имеет значения, насколько полезными окажутся квантовые вычисления, как не имеет значения и то, построим ли мы первый универсальный квантовый компьютер на следующей неделе, через века или не построим его никогда. В любом случае квантовая теория вычислений должна стать неотъемлемой частью мировоззрения всякого, кто ищет фундаментального понимания реальности. То, что квантовые компьютеры говорят нам о связи

¹ За время, прошедшее с момента написания книги, дальность квантовой криптографической связи выросла до нескольких сотен километров за счет повышения качества источников, приемников и передающих сред. Также активно ведутся исследования, направленные на создание квантовых повторителей, которые позволят ретранслировать сигнал без потери ключевого для квантовой криптографии свойства — возможности обнаружить прослушивание канала связи на любом участке. — *Прим. ред.*

между законами физики, универсальностью и, казалось бы, не связанными нитями объяснения в структуре реальности, мы можем обнаружить — и уже обнаруживаем, — изучая их теоретически.

Терминология

Квантовые вычисления — вычисления, которые требуют квантово-механических процессов, особенно интерференции. Другими словами, вычисления, которые осуществляются в сотрудничестве с параллельными вселенными.

Экспоненциальные вычисления — вычисления, требования которых к ресурсам (например, необходимому времени) увеличиваются примерно в одинаковое число раз при добавлении к вводимому числу каждого дополнительного разряда.

Легко- и труднорешаемый (приближенное объяснение) — вычислительная задача считается легко решаемой, если ресурсы, необходимые для ее выполнения, не увеличиваются экспоненциально с ростом количества разрядов вводимого числа.

Хаос — неустойчивость движения большинства классических систем. Небольшая разница между двумя начальными состояниями порождает экспоненциально растущие отклонения двух результирующих траекторий. Однако реальность подчиняется не классической, а квантовой физике. Непредсказуемость, вызванная хаосом, в общем случае тонет в квантовой неопределенности, вызванной тем, что идентичные вселенные становятся различными.

Универсальный квантовый компьютер — компьютер, способный выполнить любое вычисление, которое способен выполнить любой другой квантовый компьютер, и создать любую конечную физически возможную среду в виртуальной реальности.

Квантовая криптография — любая форма криптографии, которую можно реализовать на квантовых компьютерах, но невозможно на классических.

Специализированный квантовый компьютер — квантовый компьютер, например, квантовое криптографическое устройство или квантовое устройство разложения на множители, который не является универсальным квантовым компьютером.

Декогеренция — если различные ветви квантового вычисления в различных вселенных по-разному воздействуют на среду, интерференция уменьшается, а вычисление может не получиться. Декогеренция — это главное препятствие для практической реализации более мощных квантовых компьютеров.

Резюме

Законы физики допускают существование компьютеров, способных воспроизвести любую физически возможную среду, не используя непрактично больших ресурсов. Таким образом, универсальные вычисления не просто возможны, как этого требует принцип Тьюринга, они также относятся к классу легкорешаемых. Квантовые явления могут включать огромное множество параллельных вселенных, а потому могут не поддаваться эффективному моделированию в пределах одной вселенной. Тем не менее эта сильная форма универсальности по-прежнему сохраняется, поскольку квантовые компьютеры способны эффективно воспроизводить любую физически возможную квантовую среду, даже когда взаимодействует огромное множество вселенных. Квантовые компьютеры также могут эффективно решать определенные математические задачи, например, разложение на множители, которые с классических позиций являются трудноразрешимыми, а также реализовывать невозможные в классике разновидности криптографии. Квантовые вычисления — это качественно новый способ покорения природы.

Следующая глава, вероятно, приведет в ярость многих математиков. С этим ничего не поделаешь. Математика — это не то, чем они ее считают.

(Читатели, не знакомые с традиционными допущениями относительно надежности математического знания, могут посчитать главный вывод этой главы — о том, что наше знание математической истины зависит от нашего знания физического мира, и не более надежно, чем это знание, — очевидным. Возможно, эти читатели предпочтут лишь просмотреть эту главу по диагонали и сразу же перейти к обсуждению времени в главе 11.)

Природа математики

«Структура реальности», которую я описывал до сих пор, была структурой *физической* реальности. Тем не менее я свободно ссылался на такие сущности, которых нет нигде в физическом мире, — абстракции, такие как числа и бесконечные множества компьютерных программ. Да и сами законы физики нельзя отнести к физическим сущностям в том смысле, в каком к ним относятся камни и планеты. Как я уже сказал, «книга природы» Галилея — это всего лишь метафора. И кроме того, существуют фикции виртуальной реальности — несуществующие среды, законы которых отличаются от реальных физических законов. Еще дальше лежит то, что я назвал CGT-средами, которые невозможно воспроизвести даже в виртуальной реальности. Я говорил, что существует бесконечно много таких сред для каждой среды, которую можно создать. Но что значит сказать, что такие среды «существуют»? Если они не существуют ни в реальности, ни даже в виртуальной реальности, то где же они существуют?

А существуют ли абстрактные нефизические сущности *вообще*? Являются ли они частью структуры реальности? Меня здесь занимают вовсе не проблемы словоупотребления. Очевидно, что числа, физические законы и т. п. действительно в некотором смысле «существуют», и в некотором — нет. Подлинный вопрос состоит в следующем: как мы должны понимать такие сущности? Какие из них являются всего лишь удобными словесными конструкциями, ссылающимися, в конечном счете, лишь на обычную физическую реальность? Какие из них — всего лишь преходящие особенности нашей

культуры? Какие из них произвольны, как правила тривиальной игры, на которые нужно просто посмотреть? А какие, если такие вообще есть, можно объяснить, только приписав им независимое существование? Все, что относится к последнему виду, *должно* быть частью структуры реальности, как она определяется в этой книге, потому что это необходимо понять, чтобы понять все, что понято.

Это говорит о том, что нам снова следует воспользоваться критерием д-ра Джонсона. Если мы хотим знать, действительно ли существует данная абстракция, мы должны спросить, «дает ли она ответную реакцию» сложным, автономным образом. Например, математики характеризуют «натуральные числа» 1, 2, 3... точным определением:

- 1 является натуральным числом;
- у каждого натурального числа есть ровно одно следующее число, которое также является натуральным;
- 1 не является следующим для какого-либо натурального числа;
- два натуральных числа, следующие за которыми одинаковы, также одинаковы между собой.

Подобные определения — суть попытки абстрактного выражения интуитивного *физического* понятия последовательных значений дискретной величины. (Точнее, как я объяснил в предыдущей главе, это понятие на самом деле является квантово-механическим.) Арифметические действия, например, умножение и сложение, а также последующие понятия вроде простых чисел, в этом случае определяют, ссылаясь на «натуральные числа». Но создав абстрактные «натуральные числа» через это определение и поняв их через эту интуицию, мы обнаруживаем, что есть гораздо больше такого, чего мы о них все еще не понимаем. Определение простого числа раз и навсегда устанавливает, какие числа являются простыми, а какие не являются. Но *понимание того*, какие числа являются простыми, — например, как распределены простые числа на очень больших интервалах, как они сгруппированы, насколько и почему они «случайны», — влечет за собой массу новых озаре-

ний и новых объяснений. Фактически оказывается, что сама теория чисел — это целый мир в себе (это часто употребляемый термин). Чтобы глубже понять числа, необходимо определить много новых классов абстрактных сущностей, а также задать многочисленные новые структуры и связи между ними. При этом обнаруживается, что некоторые из этих абстрактных структур связаны с другими интуитивными представлениями, которыми мы уже обладаем, и которые, на первый взгляд, не имеют ничего общего с числами — такими, например, как *симметрия*, *вращение*, *континуум*, *множества*, *бесконечность* и многое другое. Получается, что абстрактные математические сущности, с которыми, как нам кажется, мы уже знакомы, тем не менее могут удивить или разочаровать нас. Они могут неожиданно возникнуть в новых нарядах или масках. Они могут быть необъяснимы, а впоследствии подойти под новое объяснение. Таким образом, они являются сложными и автономными, и, следовательно, по критерию д-ра Джонсона мы должны сделать вывод об их реальности. Поскольку мы не можем понять их ни как часть себя, ни как часть чего-либо еще, что мы уже понимаем, но *можем* понять их как независимые сущности, следует сделать вывод, что они *являются* реальными, независимыми сущностями.

Тем не менее абстрактные сущности неосвязаемы. Они не дают ответной физической реакции так, как это делает камень, поэтому эксперимент и наблюдение не могут играть в математике такую же роль, какую они играют в естественных науках. В математике такую роль играет *доказательство*. Камень д-ра Джонсона оказывал ответное воздействие тем, что от него отскакивала нога. Простые числа оказывают ответное воздействие, когда мы доказываем что-то неожиданное относительно них, особенно, если мы можем пойти дальше и объяснить это. С традиционной точки зрения ключевое различие между доказательством и экспериментом состоит в том, что доказательство никак не ссылается на физический мир. Доказательство можно провести в своем собственном разуме или внутри генератора виртуальной реальности, который имитирует среду с неправильной физикой. При единственном условии — следования правилам математического вывода — мы по-

лучим тот же самый ответ, что и любой другой на нашем месте. И вновь, доминирующее представление состоит в том, что, за исключением случая грубых ошибок, если мы что-то доказали, то с абсолютной уверенностью знаем, что это истина.

Математики очень гордятся этой абсолютной уверенностью, а ученые-естественники склонны немного ей завидовать. Дело в том, что в естествознании невозможна полная уверенность в каком-либо утверждении. Как бы хорошо чья-то теория ни объясняла существующие наблюдения, в любой момент кто-то может сделать новое, необъяснимое наблюдение, которое поставит под сомнение всю существующую объяснительную структуру. Хуже того, кто-то может достичь лучшего понимания, которое объясняет не только все существующие наблюдения, но и то, почему предыдущие объяснения казались подходящими, будучи при этом совершенно ошибочными. Галилей, например, обнаружил новое объяснение того издревле известного факта, что земля у нас под ногами находится в состоянии покоя, — причем объяснение, предполагающего движение Земли. Виртуальная реальность — которая может сделать так, что одна среда будет казаться другой — подчеркивает тот факт, что, когда наблюдение выступает как высший арбитр между теориями, не может быть полной уверенности в том, что существующее объяснение, каким бы очевидным оно ни было, хотя бы отдаленно является истиной. Но когда в качестве арбитра выступает доказательство, достижение уверенности считается возможным.

Говорят, что правила логики были впервые сформулированы в надежде на то, что они обеспечат непредвзятый и безошибочный метод разрешения всех споров. Этой надежде не суждено было сбыться. Изучение самой логики открыло, что область действия логической дедукции как средства раскрытия истины серьезно ограничена. При наличии существенных допущений о мире можно сделать выводы дедуктивно; но эти выводы будут не надежнее, чем допущения. Единственный тип утверждений, которые логика может доказать, не прибегая к допущениям, — это тавтологии, то есть такие утверждения, как «все планеты являются планетами», которые не содержат ничего нового. В частности, все существенные

естественнонаучные вопросы находятся за пределами той области, где можно уладить споры с помощью одной лишь логики. Однако считается, что математика находится *в пределах* этой области. Таким образом, математики ищут абсолютную, но абстрактную истину, в то время как естественники утешают себя мыслью, что могут обрести реальное и полезное знание физического мира. Но они должны принять, что на это знание не дается гарантий. Оно всегда является временным и всегда будет подвержено ошибкам. Идея о том, что наука характеризуется «индукцией», методом обоснования, который считается аналогом логической дедукции, но чуть более подверженным ошибкам, — это попытка извлечь все возможное из этого кажущегося второсортного статуса научного знания. Вместо дедуктивно обоснованной уверенности, возможно, мы удовольствуемся индуктивно обоснованной «почти-уверенностью».

Как я уже говорил, не существует такого метода доказательства, как «индукция». Идея найти путь к «почти-уверенности» в науке — это миф. Каким образом я мог бы «почти-достоверно» доказать, что завтра не опубликуют удивительную новую физическую теорию, опровергающую мои самые неоспоримые допущения относительно реальности? Или то, что я не нахожусь внутри генератора виртуальной реальности? Но все это вовсе не говорит о том, что научное знание действительно «второсортно». Ибо идея о том, что математика дает достоверное знание, — *это тоже миф*.

С древних времен идея о привилегированном статусе математического знания часто ассоциировалась с идеей о том, что некоторые абстрактные сущности не просто являются частью структуры реальности, но даже более реальны, чем физический мир. Пифагор считал, что закономерности в природе есть выражение математических соотношений между натуральными числами. «Числу все вещи подобны»¹ — таков был его девиз. Он не имел это в виду совершенно буквально, однако Платон пошел еще дальше и по существу отрицал реальность физического мира вообще. Он считал, что наши кажущиеся ощущения этого мира ничего не стоят

¹ Цит. по: Фрагменты ранних греческих философов. Ч. I. — М.: Наука, 1989. С. 149. — *Прим. ред.*

или вводят в заблуждение, и доказывал, что физические объекты и явления, которые мы воспринимаем, — всего лишь «тени» или несовершенные копии их идеальных сущностей («форм» или «идей»), существующих в отдельном царстве, которое и есть истинная реальность. В этой области, кроме всего прочего, существуют формы чистых чисел, таких как 1, 2, 3..., и формы математических действий, таких как сложение и умножение. Мы можем воспринять некоторые тени этих форм, когда кладем на стол одно яблоко, потом еще одно и видим, что на столе два яблока. Однако яблоки выражают «единственность» и «двойственность» (и, раз уж на то пошло, «яблочность») лишь несовершенно. Они не являются совершенно идентичными, а потому в действительности на столе никогда нет двух экземпляров чего-либо. На это можно возразить, что число два представимо также, если положить на стол два *различных* объекта. Но и такое представление несовершенно, потому что в этом случае мы должны допустить, что на столе также есть клетки, отпавшие от яблок, пыль и воздух.

В отличие от Пифагора, Платон не испытывал особого пристрастия к натуральным числам. Его реальность содержала формы всех понятий. Например, она содержала форму совершенного круга. «Круги», которые мы видим, никогда не являются настоящими кругами. Они не идеально круглые, не идеально плоские; у них есть конечная толщина и т. д. Все они несовершенно.

Затем Платон указал проблему. Принимая во внимание все это земное несовершенство (и, мог бы добавить он, наш несовершенный сенсорный доступ даже к земным кругам), как вообще мы можем знать то, что мы знаем о реальных, совершенных кругах? Очевидно, что мы обладаем знанием о них, но каким образом? Где Евклид приобрел знание геометрии, которое выразил в своих знаменитых аксиомах, если у него не было ни подлинных кругов, ни точек, ни прямых? Откуда исходит уверенность в математическом доказательстве, если никто не способен ощутить те абстрактные сущности, на которые оно ссылается? Ответ Платона заключался в том, что знание о таких вещах мы получаем не из этого мира теней и иллюзий, а непосредственно из реального мира форм. Мы обладаем совершенным врожденным знанием того мира, которое, как он считал, забывается

при рождении, а затем скрывается под слоями ошибок, вызванных тем, что мы доверяем своим чувствам. Но реальность можно вспомнить, усердно применяя «разум», что дает затем абсолютную уверенность, которой никогда не обеспечивает опыт.

Интересно, кто-нибудь когда-нибудь верил в эту весьма сомнительную фантазию (включая самого Платона, который все-таки был очень компетентным философом, считавшим, что публике стоит говорить благородную ложь)? Тем не менее поставленная им проблема — откуда у нас берется знание абстрактных сущностей, не говоря уж об уверенности в нем, — достаточно реальна, а некоторые элементы предложенного Платоном решения с тех пор стали частью господствующей теории познания. В частности, фактически все математики до сегодняшнего дня без критики принимают основную идею о том, что математическое и естественнонаучное знание проистекает из *различных источников* и что «особый» источник математики придает ей *абсолютную достоверность*. Сейчас этот источник математики называют *математической интуицией*, однако он играет ту же самую роль, что и «воспоминания» Платона о царстве форм.

Математики много и мучительно спорили о том, открытия каких в точности видов совершенно надежного знания можно ожидать от нашей математической интуиции. Другими словами, они согласны, что математическая интуиция — источник абсолютной определенности, но не могут прийти к соглашению относительно того, что она им говорит! Очевидно, что это повод для бесконечных, неразрешимых споров.

Большая часть таких споров неизбежно вращалась вокруг допустимости или недопустимости различных методов доказательства. Одно из разногласий было связано с так называемыми «мнимыми» числами. Мнимые числа — это квадратные корни из отрицательных чисел. Новые теоремы об обычных, «действительных» числах доказывали, обращаясь на промежуточных этапах рассуждения к свойствам мнимых чисел. Например, так были доказаны первые теоремы о распределении простых чисел. Однако некоторые математики возражали против мнимых чисел на том основании, что они нереальны. (Современная англоязычная терминология, в которой

действительные числа обозначаются словом *real*, все еще отражает это старое разногласие, хотя сегодня мы считаем, что мнимые числа столь же реальны, как и действительные.) Я полагаю, что учителя в школе говорили этим математикам, что *не допускается* извлекать квадратный корень из минус единицы, и, поэтому они не понимали, почему кто-то другой может это сделать. Нет сомнения в том, что они называли этот злопыхательский порыв «математической интуицией». Однако другие математики обладали другой интуицией. Они понимали, что такое мнимые числа, и как они согласуются с действительными. Почему, думали они, человек не должен определять новые абстрактные сущности, имеющие любые свойства, какие ему нравятся? Безусловно, единственным законным основанием запретить могла быть только логическая несовместимость требуемых свойств. (Сегодня это, в сущности, является консенсусом, который математик Джон Хортон Конуэй¹ задиристо назвал Освободительным движением математиков.) Как известно, никто *не доказал*, что система мнимых чисел непротиворечива. Но ведь никто *не доказал* и того, что обычная арифметика натуральных чисел является непротиворечивой!

Подобные разногласия существовали и в отношении допустимости использования бесконечных чисел, а также множеств, содержащих бесконечно много элементов, и бесконечно малых величин, применяемых в дифференциальном и интегральном исчислении. Давид Гильберт², создавший бóльшую часть математического аппарата, как для общей теории относительности, так и для квантовой теории,

¹ Джон Хортон Конуэй (John Horton Conway, род. 1937) — британский математик с обширными интересами, включающими теорию групп, теорию чисел, комбинационную теорию игр и теорию кодирования. Известен также как популяризатор науки и изобретатель клеточного автомата и компьютерной игры «Жизнь». — *Прим. ред.*

² Давид Гильберт (David Hilbert, 1862–1943) — великий немецкий математик, работавший над целым спектром фундаментальных проблем: теория инвариантов, теория алгебраических чисел, функциональный анализ, тензорный анализ. Занимался аксиоматическим обоснованием математики. В 1900 г. сформулировал список из 23 фундаментальных проблем, решением которых математики заняты до настоящего времени. — *Прим. ред.*

заметил, что «математическая литература переполнена бессмыслицами и нелепостями, имеющими свой источник в бесконечности». Некоторые математики, как мы увидим, вовсе отрицали возможность корректных рассуждений о бесконечных сущностях. Несмотря на впечатляющий прогресс чистой математики в XIX веке, он мало что дал для разрешения этих разногласий. Напротив, он только усугублял их и порождал новые. По мере своего усложнения математические рассуждения неизбежно удалялись от повседневной интуиции, что привело к двум важным противоположным эффектам. С одной стороны, математики все более придирчиво относились к доказательствам, которые, чтобы быть принятыми, должны были удовлетворять все более жестким стандартам строгости. Однако, с другой стороны, изобретались более мощные *методы* доказательства, которые не всегда сводились к уже существующим методам. И из-за этого часто возникали сомнения, является ли какой-то конкретный метод доказательства, несмотря на свою самоочевидность, абсолютно безошибочным.

Таким образом, к 1900 году наступил кризис оснований математики, а именно, оказалось, что этих оснований не было. Но что же произошло с законами чистой логики? Разве не им полагалось разрешать все споры в царстве математики? Прискорбный факт заключался в том, что теперь математические споры, в сущности, и велись о «законах чистой логики». Первым эти законы кодифицировал еще Аристотель в IV веке до н. э., положив начало тому, что сегодня называют *теорией доказательств*. Он принял, что доказательство должно состоять из последовательности утверждений, которая начинается с каких-либо посылок и определений, а заканчивается желаемым выводом. Чтобы последовательность утверждений была обоснованным доказательством, каждое утверждение, кроме начальных посылок, должно следовать из предыдущих в соответствии с одним из фиксированного набора шаблонов, называемых *силлогизмами*. Типичным был следующий силлогизм:

Все люди смертны.

Сократ — человек.

[Следовательно] *Сократ смертен.*

Другими словами, это правило гласило, что если в доказательстве появляется утверждение вида «все А имеют свойство В» (как в данном случае «все люди смертны») и другое утверждение вида «индивидуум Х есть А» (как в данном случае «Сократ — человек»), то далее в доказательстве можно обоснованно использовать утверждение «Х имеет свойство В» («Сократ смертен»), и в частности, это является обоснованным выводом. Силлогизмы выражали то, что мы назвали бы *правилами вывода*, то есть правилами, определяющими шаги, разрешенные при доказательстве, такие, что истинность посылок передается и заключениям. Точно так же эти правила можно применять для определения, обосновано ли данное доказательство.

Аристотель заявил, что все обоснованные доказательства можно выразить в виде силлогизмов. Но он не доказал это! Проблема же теории доказательства заключалась в том, что лишь очень небольшое число современных математических доказательств представлялось в виде чистой последовательности силлогизмов; более того, большинство из них невозможно было привести к такому виду даже в принципе. Тем не менее математики в большинстве своем не могли заставить себя ограничиваться аристотелевскими принципами, так как некоторые новые доказательства казались столь же самоочевидно корректными, как и шаблоны умозаключений Аристотеля. Математика развивалась. Новые инструменты, такие как математическая логика и теория множеств, позволили связывать математические структуры новыми способами. Благодаря этому появились новые самоочевидные истины, независимые от классических правил вывода, и поэтому классические правила стали самоочевидно неадекватными. Но какие же из новых методов доказательства были по-настоящему безошибочными? Как следовало изменить правила вывода, чтобы они обрели законченность, на которую ошибочно претендовал Аристотель? Как можно было вернуть тот абсолютный авторитет, которым обладали старые правила, если математики не могли прийти к соглашению относительно того, что является самоочевидным, а что бессмысленным?

Тем временем математики продолжали строить свои абстрактные воздушные замки. Для практических целей многие такие по-

строения казались достаточно надежными. Некоторые из них стали незаменимыми в науке и технике, и в большинстве своем они были связаны между собой красивой и плодотворной объяснительной структурой. Тем не менее никто не мог гарантировать, что вся эта структура или любая существенная ее часть не имеет в своей основе логического противоречия, способного превратить ее в полную бессмыслицу. В 1902 году Бертран Рассел доказал противоречивость схемы строгого определения теории множеств, которую только что предложил Готтлоб Фреге¹. Это не значило, что больше нельзя было использовать множества в доказательствах. На самом деле совсем немногие математики всерьез считали, что хоть какой-то из обычных способов использования множеств, арифметики или других ключевых разделов математики может быть некорректным. В результатах Рассела поражало то, что математики считали свой предмет средством получения абсолютной уверенности *par excellence* через доказательство математических теорем. Сама возможность разногласий относительно обоснованности различных методов доказательства подрывала (как считалось) саму суть их предмета.

Поэтому многие математики почувствовали, что подведение под теорию доказательства, а тем самым и под саму математику, надежной основы является насущным делом, не терпящим отлагательства. После своих стремительных прорывов они хотели консолидации: раз и навсегда определить, какие виды доказательств являются абсолютно надежными, а какие — нет. Все оказавшееся вне зоны надежности можно было и отбросить, а все попадающее в эту зону стало бы единой основой всей будущей математики.

В этой связи нидерландский математик Лейтзен Эгбертус Ян Брауэр² пропагандировал чрезвычайно консервативную страте-

¹ Фридрих Людвиг Готтлоб Фреге (1848–1925) — немецкий математик, логик и философ, родоначальник аналитической философии. — *Прим. ред.*

² Лейтзен Эгбертус Ян Брауэр (1881–1966) — нидерландский математик и философ, основоположник интуиционизма. Работал в области топологии, теории множеств, теории меры и комплексного анализа. — *Прим. ред.*

гию теории доказательства, известную как *интуиционизм*, которая и по сей день имеет своих сторонников. Интуиционисты пытаются толковать «интуицию» самым узким возможным образом, сохраняя лишь то, что они считают ее неоспоримыми самоочевидными аспектами. Затем они поднимают определенную таким образом математическую интуицию на уровень даже более высокий, чем позволял ей Платон: они ставят ее даже выше чистой логики. Саму логику они считают не заслуживающей доверия, за исключением тех случаев, когда ее оправдывает прямая математическая интуиция. Например, интуиционисты отрицают, что можно иметь прямое интуитивное понимание какой-либо бесконечной сущности. Поэтому они отрицают существование любых бесконечных множеств, например, множества всех натуральных чисел. Утверждение о том, что «существует бесконечно много натуральных чисел», они сочли бы самоочевидно ложным, а утверждение о том, что «существует больше CGT -сред, чем физически возможных сред», — абсолютно бессмысленным.

Исторически интуиционизм сыграл ценную освободительную роль, как и индуктивизм до него. Он осмелился подвергнуть сомнению то, что считалось совершенно достоверным, и кое-что из этого действительно оказалось ложным. Но в качестве позитивной теории о том, что является или не является корректным математическим доказательством, он и не представляет никакой ценности. В действительности интуиционизм — это точное выражение солипсизма в математике. В обоих случаях наблюдается чрезмерная реакция на мысль о том, что мы не можем быть *уверены* в том, что нам известно о внешнем мире. В обоих случаях предложенное решение состоит в том, чтобы уйти во внутренний мир, который мы якобы знаем непосредственно и, следовательно (?), можем быть уверены, что познали истину. В обоих случаях решение включает отрицание существования — или, по крайней мере, отказ от объяснения — того, что находится вовне. И в обоих случаях этот отказ также делает невозможным объяснение большей части того, что находится внутри предпочитаемой области. Например, если действительно ложно то (как утверждают интуиционисты), что существует бесконечно много натуральных чисел, то мы можем за-

ключить, что должно существовать лишь конечное их количество. Но сколько? И потом, сколько бы их ни было, почему нельзя создать интуицию следующего натурального числа после данного? Интуиционисты оправдываются, говоря, что приведенный мной довод допускает обоснованность обычной логики. В частности, он содержит логический переход: из того факта, что не существует бесконечно много натуральных чисел, делается вывод, что должно существовать какое-то конкретное конечное их количество. Применяемое в данном случае правило вывода называется *законом исключенного третьего*. Этот закон гласит, что для любого утверждения X (например, «существует бесконечно много натуральных чисел») нет третьей возможности, кроме истинности X и истинности отрицания X («существует конечное множество натуральных чисел»), которая была бы истинной. Интуиционисты хладнокровно отрицают закон исключенного третьего.

Поскольку в разуме большинства людей сам закон исключенного третьего подкреплен мощной интуицией, его отрицание естественным образом вызывает у неинтуиционистов сомнение в том, так ли уж самоочевидна надежность интуиции интуиционистов. Или, если мы сочтем, что закон исключенного третьего исходит из *логической* интуиции, он приводит нас к пересмотру вопроса о том, действительно ли математическая интуиция стоит выше логики. И в любом случае, может ли это быть *самоочевидным*?

Но все это была критика интуиционизма извне. Это не опровержение: интуиционизм невозможно опровергнуть вообще. Если кто-либо настаивает, что непротиворечивость высказывания для него самоочевидна, то доказать его неправоту невозможно так же, как и если бы он настаивал на том, что существует только он один. Однако, как и в случае с солипсизмом в целом, воистину роковая ошибка интуиционизма открывается не тогда, когда на него нападают, а тогда, когда его принимают всерьез в качестве объяснения его собственного, произвольно усеченного мира. Интуиционисты верят в реальность конечного множества натуральных чисел 1, 2, 3... и даже числа 10 949 769 651 859. Но интуитивный аргумент, состоящий в том, что, раз у каждого из этих чисел есть следующее, то, они образуют бесконечную последовательность, для интуици-

онистов не более чем самообман и потому неубедителен. Но разрывая связь между своей версией абстрактных «натуральных чисел» и интуитивным представлением, которое эти числа должны были первоначально формализовать, интуиционисты отказывают себе в праве использовать обычную объяснительную структуру, через которую понимаются натуральные числа. Это создает проблему для каждого, кто предпочитает объяснения необъясненным усложнениям. Вместо того чтобы решить эту проблему, предоставив альтернативную или более глубокую объяснительную структуру для натуральных чисел, интуиционизм делает то же самое, что делала Инквизиция и что делали солипсисты: он еще дальше уходит от объяснений. Он вводит дальнейшие необъясненные усложнения (в данном случае — отрицание закона исключенного третьего), единственная цель которых состоит в том, чтобы позволить интуиционистам вести себя так, как если бы объяснения их противников были истинными, но не делая из этого никаких выводов относительно реальности.

Точно так же как солипсизм начинается со стремления упростить пугающе разнообразный и неопределенный мир, но при серьезном к нему отношении оказывается реализмом, *дополненным* некоторыми ненужными усложнениями, так и интуиционизм в итоге становится одной из самых контринтуитивных доктрин, когда-либо воспринимавшихся всерьез.

Давид Гильберт предложил план гораздо более соответствующий здравому смыслу — хотя, в конечном счете, и обреченный — «раз и навсегда убедиться в надежности математических методов». План Гильберта основывался на идее непротиворечивости. Он надеялся составить однажды и навсегда полный набор современных правил вывода математических доказательств с определенными свойствами. Количество таких правил должно было быть конечным. Они должны были быть применимы непосредственно, так, чтобы определение того, удовлетворяет ли им какое-то предполагаемое доказательство, не вызывало бы споров. Желательно, чтобы эти правила были интуитивно самоочевидными, но это не было первоственным требованием для прагматичного Гильберта. Он был бы удовлетворен, если бы правила лишь умеренно соответствовали ин-

туции при условии, что он мог бы быть уверен в их непротиворечивости. То есть, если правила определили данное доказательство как корректное, он хотел быть уверен, что они никогда не определят как корректное любое доказательство с противоположным выводом. Но как он мог в этом убедиться? На этот раз непротиворечивость следовало *доказать* с помощью метода доказательства, который сам подчинялся тем же правилам вывода. Тем самым Гильберт надеялся восстановить полноту и надежность, присущую аристотелевскому подходу. Он также надеялся, что в соответствии с этими правилами будет в принципе доказуемо любое истинное математическое утверждение и не будет доказуемо никакое ложное утверждение. В 1900 году в ознаменование начала нового века Гильберт опубликовал список проблем, которые, как он надеялся, математики смогут решить в XX веке. Десятая проблема заключалась в нахождении набора правил вывода с вышеуказанными свойствами и доказательстве их непротиворечивости на их же основе.

Гильберту предстояло пережить полное разочарование. Тридцать один год спустя Курт Гёдель произвел революцию в теории доказательств радикальным отрицательным результатом, от которого до сих пор не оправились математический и физический мир: он доказал, что десятая проблема Гильберта не имеет решения. Во-первых, Гёдель доказал, что любой набор правил вывода, пригодный для корректного обоснования даже доказательств обычной арифметики, никогда не позволит обосновать доказательство своей собственной непротиворечивости. А значит, нечего и надеяться найти доказуемо непротиворечивый набор правил, о котором мечтал Гильберт. Во-вторых, Гёдель доказал, что если какой-то набор правил вывода в некоторой (достаточно обширной) области математики *является* непротиворечивым (неважно, доказуемо это или нет), то в пределах этой области должны существовать корректные методы доказательства, корректность которых нельзя установить, опираясь на данные правила. Это называется *теоремой Гёделя о неполноте*. Для доказательства своих теорем Гёдель пользовался замечательным расширением «диагонального аргумента» Кантора, о котором я упоминал в главе 6. Он начал с рассмотрения произвольного непротиворечивого набора правил вывода. Затем он по-

казал, как составить утверждение, которое невозможно ни доказать, ни опровергнуть с помощью этих правил. Затем он доказал, что это высказывание является истинным.

Если бы программа Гильберта сработала, это стало бы плохой новостью для той концепции реальности, которую я выдвигаю в этой книге, поскольку устранило бы необходимость *понимания* при суждении о математических идеях. Кто угодно — или любой неразумный компьютер, — выучив правила вывода, на которые так надеялся Гильберт, смог бы судить о математических утверждениях, как и самый способный математик, не нуждаясь в математическом озарении или понимании и даже не имея самого отдаленного представления о смысле этих утверждений. Стало бы принципиально возможно делать новые математические открытия, не зная математики вообще, а зная только правила Гильберта. Можно было бы просто проверять все возможные строки букв и математических символов в алфавитном порядке, пока одна из них не прошла бы тест на то, является ли она доказательством или опровержением какого-либо знаменитого недоказанного предположения. В принципе, так можно было бы уладить любой спор в математике, даже не понимая его смысла — даже не зная значения символов, не говоря уж о понимании принципа действия доказательства или того, что оно доказывает, или в чем заключается метод доказательства, или почему на него можно положиться.

Может показаться, что достижение единого стандарта доказательств в математике могло бы, по крайней мере, помочь нам во всеобщем стремлении к объединению — то есть к «углублению» нашего знания, о котором я говорил в главе 1. Однако в действительности все наоборот. Подобно предсказательной «теории всего» в физике, правила Гильберта почти ничего не сказали бы нам о структуре реальности. Они реализовали бы в рамках математики заветную мечту редуccionистов — предсказывать все (в принципе), но ничего не объяснять. Более того, если бы математика стала редуccionистской, то все нежелательные черты, которые, как я показал в главе 1, отсутствуют в структуре человеческого знания, присутствовали бы в математике: математические идеи образовывали бы иерархию, в основе которой лежали бы пра-

вила Гильберта. Математические истины, проверка которых, исходя из этих правил, была бы очень сложна, оказались бы объективно менее фундаментальными, чем те, которые можно было бы немедленно проверить с помощью этих правил. Поскольку мог существовать только конечный набор таких фундаментальных истин, со временем математике пришлось бы заниматься все менее фундаментальными задачами. Математика вполне могла исчерпать себя, будь верна эта зловещая гипотеза. В противном случае она неизбежно распадается на все более загадочные специализации по мере увеличения сложности «эмерджентных» вопросов, которые вынуждены решать математики, и по мере того, как связи между этими вопросами и основаниями предмета становятся все более отдаленными.

Благодаря Гёделю мы знаем, что никогда не будет неизменного метода определения истинности математического утверждения, как не существует и неизменного способа определения истинности научной теории. Не будет никогда и неизменного способа создания нового математического знания. Следовательно, прогресс в математике всегда будет зависеть от творческого подхода. Изобретение новых типов доказательств всегда будет возможным и необходимым делом для математиков. Они будут проверять их с помощью новых аргументов и новых способов объяснения, зависящих от непрерывно растущего понимания используемых при этом абстрактных сущностей. Примером служат теоремы самого Гёделя: чтобы доказать их, ему пришлось изобрести новый метод доказательства. Я сказал, что этот метод был основан на «диагональном аргументе», однако Гёдель по-новому расширил это доказательство. До него так ничего не доказывали; никакие правила вывода, составленные кем-либо, кто никогда не видел метода Гёделя, не обладали бы, вероятно, такой предсказательной силой, чтобы определить его как корректный. Однако его корректность самоочевидна. Откуда исходит эта самоочевидность? Она возникает из понимания Гёделем природы доказательства. Доказательства Гёделя столь же убедительны, как и любые другие математические доказательства, но только для того, кто прежде поймет сопутствующее им объяснение.

Таким образом, и в чистой математике объяснение играет ту же самую первостепенную роль, какую оно играет в естественных науках. Объяснение и понимание мира — физического мира и мира математических абстракций — в обоих случаях является целью изучения. Доказательства и наблюдения — это всего лишь средства проверки наших объяснений.

Роджер Пенроуз извлек из результатов Гёделя еще более глубокий, радикальный и достойный Платона урок. Как и Платона, Пенроуза восхищает способность человеческого разума постигать абстрактные достоверные факты математики. Но в отличие от Платона, Пенроуз не верит в сверхъестественное и принимает как само собой разумеющееся, что мозг — часть естественного мира и имеет доступ только к этому миру. Таким образом, проблема для него встает даже острее, чем для Платона: как может нечеткий и ненадежный мир давать математическую уверенность такой нечеткой и ненадежной части себя, какой является математик? В особенности Пенроуза удивляет, каким образом нам удастся почувствовать безошибочность новых корректных *форм* доказательства, которых, как уверяет Гёдель, бесконечно много.

Пенроуз все еще работает над подробным ответом, но заявляет, что само существование неограниченной математической интуиции такого рода фундаментально несовместимо с существующей структурой физики и, в частности, с принципом Тьюринга. Вкратце его доказательство выглядит примерно так. Если принцип Тьюринга является истинным, то можно рассматривать мозг (как и любой другой объект) в качестве компьютера, выполняющего определенную программу. Взаимодействие мозга с окружающей средой складывается из входных и выходных данных. Теперь рассмотрим математика в процессе решения вопроса о том, обоснован или нет недавно предложенный вид доказательства. Принятие такого решения эквивалентно исполнению в мозге математика компьютерной программы проверки доказательства. Такая программа воплощает некий набор правил вывода Гильберта, который, в соответствии с теоремой Гёделя, вероятно, не может быть законченным. Более того, как я уже сказал, Гёдель предложил способ создания и доказательства истинного утверждения, которое

эти правила не способны признать доказанным. Следовательно, математик, разум которого, по сути, является компьютером, применяющим эти правила, также никогда не сможет признать это утверждение доказанным. Затем Пенроуз предлагает показать этому самому математику данное утверждение и метод доказательства его истинности по Гёделю. Математик понимает доказательство. Оно все-таки самоочевидно корректно, поэтому математик, вероятно, сможет увидеть его корректность. Но это бы противоречило теореме Гёделя. Следовательно, где-то в рассуждении должно быть ложное допущение, и Пенроуз считает, что этим ложным допущением является принцип Тьюринга.

Большинство специалистов по информатике несогласны с Пенроузом, что слабое звено в этом рассуждении — это принцип Тьюринга. Они бы сказали, что математик из этого рассуждения на самом деле не сможет признать гёделевское утверждение доказанным. Может показаться странным, почему математик вдруг не сможет понять самоочевидное доказательство. Но взгляните на следующее утверждение:

Дэвид Дойч не может непротиворечиво признать, что данное утверждение является истинным.

Я стараюсь изо всех сил, но не могу непротиворечиво заключить, что оно истинно. Поскольку, если бы я сделал это, я бы пришел к выводу о том, что я *не могу* составить суждение о его истинности, и вступил бы в противоречие с самим собой. Однако вы ведь видите, что оно истинно, не так ли? Это демонстрирует, по крайней мере, возможность того, что утверждение будет недоступно пониманию для одного человека, но самоочевидно истинным для любого другого.

Так или иначе, Пенроуз надеется на новую фундаментальную теорию физики, которая заменит как квантовую теорию, так и общую теорию относительности. Она давала бы новые проверяемые предсказания, хотя, безусловно, согласовывалась бы и с квантовой теорией, и с теорией относительности во всех существующих наблюдениях. (Для этих двух теорий неизвестно экспериментальных

контрпримеров.) Однако мир Пенроуза по своей сути сильно отличается от того, что описывает существующая физика. Фундаментальной структурой реальности в нем является то, что *мы* называем миром математических абстракций. В этом отношении Пенроуз, реальность которого включает все математические абстракции, но, вероятно, не *все* абстракции (вроде чести и справедливости), находится где-то между Платоном и Пифагором. То, что мы называем физическим миром, является для него вполне реальным (еще одно отличие от Платона), но каким-то образом это является частью, или эмерджентной формой, самой математики. Более того, в его мире не существует универсальности; в частности, не существует машины, способной воссоздать все возможные мыслительные процессы людей. Однако мир (в особенности, конечно, его математическое основание) все еще остается постижимым. Его постижимость гарантирована не универсальностью вычислений, а явлением, достаточно новым для физики (хотя и не для Платона): *математические сущности напрямую взаимодействуют с человеческим мозгом* через физические процессы, которые еще предстоит открыть. Таким образом, мозг, по Пенроузу, не занимается математикой, ссылаясь единственно на то, что мы сейчас называем физическим миром. Он имеет прямой доступ к реальности математических форм Платона и там может постигать математические истины (за исключением грубых ошибок) с абсолютной уверенностью.

Часто предполагают, что мозг может быть квантовым компьютером и что его интуиция, сознание и способности к решению задач могут зависеть от квантовых вычислений. Это *может* быть так, но я не знаю ни данных, ни убедительных аргументов в пользу этого. Я ставлю на то, что мозг, если его рассматривать как компьютер, является классическим компьютером. Но это вопрос, независимый от идей Пенроуза. Он не утверждает, что мозг — это новый вид универсального компьютера, который отличается от универсального квантового компьютера тем, что имеет больший репертуар вычислений, которые делает возможными новая, постквантовая физика. Он выступает в пользу новой физики, которая не будет поддерживать универсальность вычислений, так что по его новой теории вообще невозможно будет истолковать некоторые действия мозга как вычисления.

Должен признаться, для меня такая теория непостижима. Однако фундаментальные открытия всегда трудно представить себе до того, как они произойдут. Естественно, трудно оценить теорию Пенроуза, прежде чем он сформулирует ее полностью. Если теория со свойствами, на которые он надеется, в конце концов вытеснит квантовую теорию, или общую теорию относительности, или и ту и другую, будь то через экспериментальные проверки или предоставив более глубокий уровень объяснения, то каждый разумный человек захочет ее принять. И тогда нам предстоит увлекательный путь постижения нового мировоззрения, к принятию которого будет вынуждать нас объяснительная структура этой теории. Вероятно, такой взгляд на мир оказался бы весьма отличным от представленного мной в этой книге. Однако, если бы даже так все и случилось, я все равно не могу понять, каким образом удовлетворялась бы первоначальная мотивация этой теории — желание объяснить нашу способность понимать новые математические доказательства. Все равно останется тот факт, что на протяжении всей истории вплоть до наших дней великие математики обладали различными конфликтующими интуитивными представлениями относительно корректности различных методов доказательства. Поэтому, даже если истинно то, что абсолютная физико-математическая реальность поставяет свои истины прямо в наш мозг, порождая интуитивные математические представления, математики не всегда способны отличить эти интуитивные представления от других, ошибочных интуиций и идей. К сожалению, нет ни колокольчика, который звонит, ни фонарика, который вспыхивает, когда мы понимаем действительно корректное доказательство. Порой мы можем ощутить такую вспышку в момент, когда хочется крикнуть «Эврика!» — и тем не менее ошибиться. И даже если теория предсказывает, что *существует* некий, не замеченный ранее физический индикатор, сопровождающий истинную интуицию (сейчас это становится в высшей степени неправдоподобно), мы бы определенно нашли его полезным, но это все равно не было бы равносильно доказательству того, что этот индикатор работает. Ничто не способно доказать, что однажды еще более совершенная физическая теория не вытеснит пенрозовскую и не по-

кажет, что предполагаемый индикатор все-таки не был надежным и что существует лучший индикатор. Таким образом, даже если мы сделаем все возможные скидки предложению Пенроуза, если мы вообразим, что оно истинно, и взглянем на мир с его позиций, это все равно не поможет нам объяснить предполагаемую уверенность в знании, которое мы приобретаем, занимаясь математикой.

Я отразил лишь общий смысл аргументов Пенроуза и его оппонентов. Читатель поймет, что, в сущности, я на стороне его оппонентов. Однако даже если признать, что основанное на гёделевских идеях рассуждение Пенроуза не доказывает то, что оно претендует доказать, а предполагаемая им новая физическая теория вряд ли объяснит то, что она нацелена объяснить, тем не менее Пенроуз прав в том, что любое мировоззрение, основанное на существующей концепции научного рационализма, создает проблему для общепризнанных оснований математики (или, как сказал бы Пенроуз, наоборот). Это древняя проблема, которую поднял еще Платон, проблема, которая, как указывает Пенроуз, обостряется в контексте как теоремы Гёделя, так и принципа Тьюринга. Состоит она в следующем: если реальность состоит из физики и понимается с помощью естественнонаучных методов, то откуда возникает математическая уверенность? В то время как большинство математиков и специалистов по информатике считают уверенность в математической интуиции чем-то само собой разумеющимся и не воспринимают всерьез проблему примирения этого факта с научным мировоззрением, Пенроуз этой проблемой озабочен и предлагает решение. Его предложение предполагает постижимость мира, отвергает сверхъестественное, признает важность творчества для математики, приписывает объективную реальность как физическому миру, так и абстрактным сущностям, и включает объединение основ математики и физики. Во всех этих отношениях я на его стороне.

Поскольку попытки Брауэра, Гильберта, Пенроуза и всех остальных принять вызов Платона, как представляется, не принесли успеха, стоит снова взглянуть на предполагаемое ниспровержение Платоном идеи о том, что математическую истину можно получить с помощью естественнонаучных методов.

Прежде всего, Платон говорит нам, что, поскольку мы имеем доступ только (скажем) к несовершенным кругам, значит, через них мы не сможем получить знание о совершенных кругах. Но почему именно это невозможно? Точно так же можно было бы сказать, что мы не можем открыть законы движения планет, потому что у нас нет доступа к реальным планетам, а есть доступ только к их изображениям. (Инквизиция это *и говорила*, и я объяснил, почему она ошибалась.) Также можно было бы сказать, что невозможно построить точные станки, потому что первый такой станок пришлось бы строить с помощью неточных станков. Пользуясь преимуществами ретроспективного взгляда, можно заметить, что такая критика вызвана очень грубым — напоминающим индуктивизм — изображением устройства науки, что вряд ли можно считать удивительным, поскольку Платон жил задолго до появления того, что мы могли бы признать наукой. Если, скажем, единственный способ узнать что-либо о кругах из опыта заключается в том, чтобы исследовать тысячи физических кругов, а потом из собранных данных попытаться сделать какой-то вывод об их абстрактных евклидовых партнерах, то Платон прав. Но если мы создадим гипотезу о том, что реальные круги в строго определенном смысле похожи на абстрактные, и окажемся правы, то мы вполне можем узнать нечто об абстрактных кругах, глядя на реальные. В геометрии Евклида часто используют рисунки для формулировки геометрической задачи или ее решения. В таком методе описания существует возможность ошибки, если несовершенство кругов на рисунке оставит ложное впечатление — например, если кажется, что два круга касаются друг друга, хотя на самом деле этого не происходит. Но, поняв отношение между реальными и совершенными кругами, можно аккуратно исключить все подобные ошибки. А не понимая этого отношения, вообще практически невозможно понять геометрию Евклида.

Надежность знания о *совершенном* круге, которое можно получить из *изображения* круга, полностью зависит от точности гипотезы о том, что эти круги сходны между собой в определенных аспектах. Такая гипотеза в отношении физического объекта (рисунка) эквивалентна физической теории, и она не может быть из-

вестна с полной уверенностью. Но этот факт не отменяет (как утверждал Платон) возможность изучения совершенных кругов на основе опыта; он лишь делает невозможной полную уверенность. Это не должно тревожить никого из тех, кто ищет не уверенности, а объяснения.

Геометрию Евклида можно абстрактно сформулировать вообще без рисунков. Но способ, которым цифры, буквы и математические символы используются в символьном доказательстве, дает ничуть не большую уверенность, чем рисунок, и по той же самой причине. Символы — это тоже физические объекты (скажем, чернильные пятна на бумаге), которые обозначают абстрактные объекты. И опять мы полностью полагаемся на гипотезу о том, что физическое поведение символов соответствует поведению обозначаемых ими абстракций. Следовательно, надежность того, что мы узнаём, манипулируя этими символами, полностью зависит от точности наших теорий об их физическом поведении и о поведении наших рук, глаз и т. д., с помощью которых мы манипулируем этими символами и наблюдаем за ними. Хитроумные чернила, из-за которых случайный символ изменил свой внешний вид, когда мы за ним не следили, — скажем, в результате высокотехнологического розыгрыша с применением дистанционного управления, — могут вскоре ввести нас в заблуждение относительно того, что мы знаем «уверенно».

Теперь давайте повторно исследуем еще одно допущение Платона: допущение о том, что у нас нет доступа к совершенству в физическом мире. Возможно, он прав в том, что мы не найдем идеальной чести или справедливости, и он безусловно прав в том, что мы не найдем законы физики или множество всех натуральных чисел. Но мы можем найти совершенную руку в бридже или совершенный ход в данной шахматной позиции. Можно сказать и так: мы можем найти физические объекты или процессы, которые полностью воспроизводят свойства заданных абстракций. Мы можем научиться игре в шахматы как с помощью реальных шахмат, так и с помощью шахматного набора совершенной формы. Тот факт, что у коня сколото одно ухо, не делает мат, который он ставит, менее окончательным.

А раз так, то совершенный евклидов круг *можно* сделать доступным для наших чувств. Платон не осознавал этого, потому что он не знал о виртуальной реальности. Не составит особого труда запрограммировать генераторы виртуальной реальности, которые обсуждались в главе 5, на воспроизведение правил геометрии Евклида, так что пользователь сможет испытать взаимодействие с совершенным кругом. Не имея толщины, круг будет невидимым, если мы не модифицируем также законы оптики, для этого мы могли бы заставить круг светиться, чтобы пользователь знал, где он находится. (Пуристы, возможно, предпочли бы обойтись без этого декорирования.) Мы можем сделать этот круг твердым и непроницаемым, чтобы пользователь мог проверить его свойства с помощью твердых, непроницаемых инструментов и средств измерения. Пусть виртуальные штангенциркули имеют идеально острую кромку, так что они могли бы точно измерить нулевую толщину. Пользователю можно позволить «рисовать» новые круги или другие геометрические фигуры в соответствии с правилами геометрии Евклида. Размеры инструментов и самого пользователя можно регулировать по желанию, чтобы обеспечить проверку предсказаний геометрических теорем в любом масштабе, сколь угодно малом. В каждом случае воспроизводимый круг будет реагировать точно так же, как предписано аксиомами Евклида. Так что на основе современной науки мы должны сделать вывод, что в этом отношении Платон представлял все с точностью до наоборот. Мы *можем* воспринимать совершенные круги в физической реальности (т. е. в виртуальной реальности); но мы никогда не воспримем их в царстве форм, поскольку, если и можно сказать, что такое царство существует, мы никак его не воспринимаем.

Занятно, но идея Платона о том, что физическая реальность состоит из несовершенных копий абстракций, сегодня кажется чрезмерно асимметричной позицией. Как и Платон, мы по-прежнему изучаем абстракции ради их самих. Однако в постгалилеевской науке и в теории виртуальной реальности мы также рассматриваем абстракции как средство понимания реальных или искусственных *физических* сущностей, и в этом контексте мы считаем само собой разумеющимся, что абстракции почти всегда являются *приближе-*

ниями к истинной физической ситуации. Таким образом, несмотря на то, что Платон считал земные круги, нарисованные на песке, приближениями к истинным, математическим кругам, современный физик посчитал бы математический круг плохим приближением истинной формы планетарных орбит, атомов и других физических объектов.

Учитывая, что всегда будет существовать возможность выхода из строя генератора виртуальной реальности или его пользовательского интерфейса, можно ли действительно говорить о том, что евклидов круг воспроизведен в виртуальной реальности в совершенстве в соответствии с нормами математической строгости? Можно. Никто не утверждает, что сама математика свободна от *такого* рода неопределенностей. Математики могут ошибиться в вычислении, исказить аксиомы, сделать опечатки при изложении своей собственной работы и т. д. Однако можно утверждать, что, *за исключением грубых ошибок*, их выводы совершенно надежны. Точно так же генератор виртуальной реальности, работая должным образом в соответствии со своими техническими характеристиками, воссоздает в совершенстве идеальный евклидов круг.

Сходным образом можно было бы возразить, что мы никогда не сможем точно сказать, как поведет себя генератор виртуальной реальности под управлением данной программы, потому что это зависит от функционирования машины и, в конечном счете, от законов физики. Поскольку невозможно с полной уверенностью знать законы физики, нельзя и достоверно знать, что машина безупречно воспроизводит геометрию Евклида. Но опять-таки никто не отрицает, что непредвиденные физические явления — станут ли они следствием неизвестных законов физики или просто заболевания мозга или хитроумных чернил — могут сбить математика с правильного пути. Но если законы физики находятся в соответствующих отношениях (а мы полагаем так), то генератор виртуальной реальности может в совершенстве делать свою работу, несмотря на то что у нас не будет в этом полной уверенности. Здесь следует проявить внимательность, чтобы не перепутать два вопроса: *можем ли мы знать*, что машина виртуальной реальности воссоздает совершенный круг? И *действительно ли* она воссоздает его?

Мы не можем знать об этом с уверенностью, но это ни на йоту не уменьшает совершенство круга, который фактически воссоздает машина. Я очень скоро вернусь к этому важному различию — между совершенным знанием (достоверностью) относительно какой-либо сущности, и «совершенством» самой сущности.

Допустим, что мы намеренно модифицируем программу геометрии Евклида так, что генератор виртуальной реальности по-прежнему будет воссоздавать круги достаточно хорошо, но все же не совершенно. Разве мы не смогли бы узнать *ничего* о совершенных кругах, воспринимая эту несовершенную картину? Это полностью зависело бы от того, знаем ли мы, в каких отношениях изменена программа, или нет. Если бы мы это знали, то могли бы с уверенностью решить (за исключением грубых ошибок и т. д.), какие аспекты ощущений, полученных нами внутри машины, представляют совершенные круги точно, а какие неточно. И в этом случае знание, которое мы там приобрели, было бы столь же надежным, как и любое знание, приобретенное с использованием правильной программы.

Воображая себе круги, мы осуществляем воспроизведение почти такого же рода в виртуальной реальности в собственном мозге. Причина того, почему этот способ размышления об идеальных кругах не бесполезен, состоит в том, что мы можем создать точные теории о том, какими свойствами совершенных кругов обладают воображаемые нами круги, а какими нет.

Используя совершенное воспроизведение в виртуальной реальности, мы могли бы увидеть шесть идентичных кругов, которые касаются кромки седьмого идентичного им круга в плоскости, не перекрывая друг друга. Это впечатление при подобных обстоятельствах было бы эквивалентно точному доказательству возможности такой ситуации, поскольку геометрические свойства воссозданных форм были бы абсолютно идентичны геометрическим свойствам абстрактных форм. Но такой вид «практического» взаимодействия с совершенными формами не способен дать *всестороннее* знание геометрии Евклида. Большая часть интересных теорем относится не к одной геометрической форме, а к бесконечным классам геометрических форм. Например, сумма углов любого ев-

клидова треугольника равна 180° . Мы можем измерить конкретные треугольники с идеальной точностью в виртуальной реальности, но даже в виртуальной реальности нельзя измерить все треугольники, а, значит, и проверить теорему.

Как же ее проверить? Мы ее доказываем. Традиционно доказательство определяют как последовательность утверждений, удовлетворяющих самоочевидным правилам вывода, но чему физически эквивалентен процесс доказательства? Чтобы доказать утверждение сразу о бесконечно большом количестве треугольников, мы исследуем определенные физические объекты (в данном случае символы), которые обладают общими свойствами со всем классом треугольников. Например, когда при надлежащих обстоятельствах мы наблюдаем символы « $\triangle ABC = \triangle DEF$ » (т. е. «треугольник ABC конгруэнтен треугольнику DEF»), мы делаем вывод, что все треугольники из некоторого класса, который мы каким-то образом определили, всегда имеют ту же самую форму, что и соответствующие им треугольники из другого класса, определенного иначе. «Надлежащие обстоятельства», которые придают этому заключению статус доказательства, заключаются, говоря языком физики, в том, что символы появляются на странице под другими символами (часть из которых выражает аксиомы геометрии Евклида), и порядок появления символов соответствует определенным правилам, а именно — правилам вывода.

Но какими правилами вывода нам следует пользоваться? Это все равно что спросить, как следует запрограммировать генератор виртуальной реальности для воспроизведения мира евклидовой геометрии. Ответ в том, что нужно использовать те правила вывода, которые, в соответствии с нашим наилучшим пониманием, заставят наши символы вести себя в соответствующих отношениях как абстрактные сущности, которые они обозначают. Как нам удостовериться, что они ведут себя именно так? Это невозможно. Предположим, что некоторые критики возражают против наших правил вывода, считая, что наши символы будут вести себя отлично от абстрактных сущностей. Мы не можем ни вызвать к авторитету Аристотеля или Платона, ни доказать, что наши правила вывода безошибочны (в отличие от теоремы Гёделя, это при-

вело бы к бесконечному регрессу, ибо сначала нам пришлось бы доказать обоснованность самого используемого нами метода доказательства). Не можем мы и надменно сказать критикам, что у них что-то не в порядке с интуицией, лишь опираясь на *нашу* интуицию, которая говорит, что символы будут копировать абстрактные сущности в совершенстве. Все, что мы можем сделать, — это объяснить. Следует объяснить, почему мы думаем, что при определенных обстоятельствах символы будут вести себя желаемым образом в соответствии с предложенными нами правилами. А критики могут объяснить, почему они предпочитают теорию, конкурирующую с нашей. Несогласие относительно двух таких теорий — это отчасти расхождение во мнениях относительно наблюдаемого поведения физических объектов. С такого рода расхождениями можно работать обычными научными методами. Иногда противоречия легко разрешимы, а иногда — нет. Другой причиной подобного расхождения может стать концептуальный конфликт относительно природы самих абстрактных сущностей. И вновь дело за конкурирующими объяснениями, на этот раз объяснениями не физических объектов, а абстракций. Либо мы придем к общему пониманию со своими критиками, либо согласимся, что говорим о двух различных абстрактных объектах, либо вообще не придем к согласию. Нет никаких гарантий. Таким образом, в противоположность традиционному убеждению, споры в математике не всегда можно разрешить с помощью чисто процедурных средств.

На первый взгляд традиционное символическое доказательство кажется радикально отличным от «практического» доказательства в виртуальной реальности. Но теперь мы видим, что они соотносятся друг с другом так же, как вычисления с физическими экспериментами. Любой физический эксперимент можно рассматривать как вычисление, и любое вычисление есть физический эксперимент. В обоих видах доказательства физическими сущностями (независимо от того, находятся они в виртуальной реальности или нет) манипулируют в соответствии с правилами. В обоих случаях физические сущности представляют интересующие нас абстрактные сущности. И в обоих случаях надежность доказательства зависит от истинности теории о том, что физиче-

ские и абстрактные сущности действительно имеют соответствующие общие свойства.

Из приведенного рассуждения также видно, что доказательство — это физический процесс. В действительности доказательство — это разновидность вычисления. «Доказать» утверждение — значит осуществить вычисление, которое, будучи выполненным правильно, устанавливает истинность высказывания. Используя слово «доказательство» для обозначения объекта, например, текста, написанного чернилами на бумаге, мы имеем в виду, что этот объект можно использовать в качестве программы для воссоздания вычисления соответствующего вида.

Следовательно, ни математические теоремы, ни процесс математического доказательства, ни опыт математической интуиции не дают нам полной уверенности, и ничто ее не дает. Наше математическое знание, так же как и наше научное знание, может быть глубоким и широким, может быть утонченным и поразительным по своей объяснительной силе, может быть принятым без разногласий; но оно не может быть абсолютно достоверным. Никто не может гарантировать, что в доказательстве, которое ранее считалось корректным, однажды не обнаружат глубокое недоразумение, казавшееся естественным из-за ранее несомненного «самоочевидного» допущения о физическом мире, об абстрактном мире или о том, как взаимосвязаны некоторые физические и абстрактные сущности.

Именно такое ошибочное, самоочевидное допущение стало причиной, по которой саму геометрию ошибочно классифицировали как раздел математики в течение двух тысячелетий, приблизительно с 300 года до н. э., когда Евклид написал свои «Начала», и до XIX века (а в большинстве словарей и школьных учебников — и по сей день). Геометрия Евклида сформировала часть интуиции любого математика. Со временем, однако, некоторые математики начали сомневаться в самоочевидности одной из аксиом Евклида (так называемой «аксиомы о параллельных»). Сначала они не сомневались в истинности этой аксиомы. Говорят, что великий немецкий математик Карл Фридрих Гаусс был первым, кто подверг ее практической проверке. Аксиома о параллельных необходима

при доказательстве того, что сумма углов треугольника составляет 180° . Легенда гласит, что в совершенной секретности (из-за боязни быть осмеянным) Гаусс разместил своих ассистентов с фонарями и теодолитами на вершинах трех холмов — вершин самого большого треугольника, который он мог легко измерить. Он не обнаружил никаких отклонений от предсказаний Евклида, однако теперь мы знаем, что это произошло потому, что его инструменты были недостаточно чувствительны. (С геометрической точки зрения окрестности Земли — довольно скучное место.) Общая теория относительности Эйнштейна включала новую теорию геометрии, которая противоречила геометрии Евклида и была доказана экспериментально. Сумма углов реального треугольника в действительности *не* обязательно составляет 180° : истинная сумма зависит от гравитационного поля в пределах этого треугольника.

Очень похожая неверная классификация была вызвана фундаментальной ошибкой, которую математики допускали с античных времен относительно самой природы своего предмета, а именно, что математическое знание является более надежным, чем какая-либо другая форма знания. Сделав эту ошибку, уже невозможно не классифицировать теорию доказательств как часть математики, поскольку математическая теорема не может быть надежной, если ненадежна сама теория, подтверждающая метод ее доказательства. Но как мы только что видели, теория доказательств не является разделом математики — она является естественнонаучной дисциплиной. Доказательства не абстрактны. Не существует абстрактного доказательства чего-либо, так же как не существует абстрактного расчета или вычисления чего-либо. Конечно, можно определить класс абстрактных сущностей и назвать их «доказательствами», но эти «доказательства» не могут подтвердить математические утверждения, потому что их невозможно увидеть. Они могут убедить кого-либо в истинности утверждения не более чем абстрактный генератор виртуальной реальности, которого физически не существует, может убедить людей, что они находятся в другой среде, или абстрактный компьютер может разложить на множители число. Математическая «теория доказательств» не имела бы никакого отношения к тому, какие математические истины можно

или нельзя доказать в действительности, точно так же как теория абстрактных «вычислений» не имеет никакого отношения к тому, что математики — или кто-то еще — могут или не могут вычислить в реальности, если не существует отдельной эмпирической причины считать, что абстрактные «вычисления» в этой теории похожи на реальные вычисления. Вычисления, включая и те особые вычисления, которые признаются доказательствами, — суть физические процессы. Теория доказательств говорит о том, как обеспечить, чтобы эти процессы правильно имитировали абстрактные сущности, которые они должны имитировать.

Теоремы Гёделя были превозносимы как «первые новые теоремы чистой логики за две тысячи лет». Но это не так: теоремы Гёделя говорят о том, что можно, а что нельзя доказать, а доказательство — это физический процесс. Ничто в теории доказательства не является делом чистой логики. Новый способ, с помощью которого Гёдель смог доказать общие утверждения о доказательствах, зависит от определенных допущений о том, какие физические процессы могут или не могут представлять абстрактный факт таким образом, чтобы наблюдатель имел возможность обнаружить его и убедиться в нем. Гёдель вычленил такие допущения, превратив их в явное и очевидное обоснование своих выводов. Его результаты самоочевидным образом подтверждались не потому, что были «чисто логическими», а потому, что математики находили эти допущения самоочевидными.

Одно из сделанных Гёделем допущений было традиционным: доказательство может иметь только конечное число шагов. Интуитивное обоснование этого допущения состоит в том, что мы конечные существа и никогда не смогли бы мысленно охватить в буквальном смысле бесконечное число утверждений. Кстати, именно эта интуиция стала причиной беспокойства многих математиков, когда в 1976 году Кеннет Эппел и Вольфганг Хакен использовали компьютер для доказательства знаменитой «гипотезы четырех красок» (о том, что, используя всего четыре разных цвета, можно раскрасить любую карту, нарисованную на плоскости, так, чтобы никакие две соседние области не были одного цвета). Их программа потратила сотни часов машинного времени, и это означало, что этапы

доказательства, будь оно записано на бумаге, не смог бы прочитать ни один человек за много жизней, не говоря уже о том, чтобы признать его самоочевидным. «Следует ли верить на слово компьютеру, утверждающему, что гипотеза четырех цветов доказана?» — задавались вопросом скептики, хотя им и в голову никогда не приходило составить каталог всех импульсов всех нейронов собственного мозга в процессе принятия относительно «простого» доказательства.

Такое беспокойство может показаться еще более обоснованным в применении к гипотетическому решению с бесконечным числом шагов. Но что такое «шаг» и что такое «бесконечный»? В V веке до н. э. Зенон Элейский на основе похожих интуитивных соображений пришел к выводу, что Ахиллес никогда не обгонит черепаху, если у черепахи было преимущество на старте. Ведь к тому времени, когда Ахиллес достигнет места, где черепаха находится сейчас, она немного продвинется вперед. К тому времени, когда он достигнет *этой* новой точки, она продвинется еще чуть-чуть и так до бесконечности. Таким образом, чтобы догнать черепаху, Ахиллесу потребуется выполнить бесконечное число шагов, которое он, будучи конечным существом, якобы выполнить не сможет. Но то, что способен сделать Ахиллес, невозможно обнаружить с помощью чистой логики. Это полностью зависит от того, что ему позволяют сделать действующие законы физики. И если эти законы говорят, что он обгонит черепаху, то он ее обгонит. В соответствии с классической физикой для того, чтобы сравняться с черепахой, требуется бесконечное количество шагов вида «переход на текущее место нахождения черепахи». В этом смысле данная операция является вычислительно бесконечной. Если это построение рассматривать как доказательство того, что одна абстрактная величина станет больше другой при выполнении данного набора действий, то это будет доказательство с бесконечным количеством шагов. Однако соответствующие законы обозначают это доказательство как физически конечный процесс — и только это имеет значение.

Интуиция Гёделя относительно шагов и конечности, насколько нам известно, действительно учитывает некоторые физические ограничения на процесс доказательства. Квантовая теория требует дискретных этапов, и ни один из известных способов взаимодействия

физических объектов не позволил бы сделать бесконечное количество шагов, прежде чем получить измеримый результат. (Возможно, однако, такое, что за всю историю Вселенной будет совершено бесконечное количество шагов — я объясню это в главе 14.) Классическая физика, окажись она истинной (что исключено), не согласовывалась бы с такого рода интуициями. Например, непрерывное движение классических систем позволило бы осуществлять «аналоговое» вычисление, которое не является пошаговым и репертуар которого существенно отличается от универсальной машины Тьюринга. Известны некоторые примеры хитрых классических законов, в случае действия которых бесконечный объем вычислений (бесконечный как по стандартам машины Тьюринга, так и квантового компьютера) можно было бы выполнить физически конечными методами. Безусловно, классическая физика несовместима с результатами бесчисленных экспериментов, поэтому размышления о том, какими *могли бы быть* «действительные» классические законы физики, носят искусственный, чисто спекулятивный характер; однако эти примеры показывают, что никто не может *доказать*, независимо от знания физики, что доказательство должно состоять из конечного числа шагов. Эти же соображения применимы к интуиции о том, что должно быть конечное количество правил вывода, и что они должны быть «применимы непосредственно». Ни одно из этих требований не имеет смысла в теории: это физические требования. Гильберт в своем влиятельном эссе «О бесконечном» (On the Infinite) ехидно высмеивал идею о том, что требование «конечного числа шагов» является существенным. Однако вышеуказанный аргумент показывает, что он ошибался: это требование существенно, и оно вытекает только из его собственной и других математиков *физической* интуиции.

По крайней мере одно из интуитивных представлений Гёделя о доказательствах оказалось ошибочным; к счастью, это никак не влияет на доказательства его теорем. Он унаследовал его в неизменной форме из предыстории греческой математики, и оно не вызывало сомнений ни у одного поколения математиков до тех пор, пока в 1980-х годах открытия в области квантовой теории вычислений не доказали его ложность. Это представление заключа-

ется в том, что доказательство — это определенный тип *объекта*, а именно, последовательность утверждений, которая подчиняется правилам вывода. Я уже говорил о том, что доказательство лучше рассматривать не как объект, а как процесс, разновидность вычислений. Однако в классической теории доказательств или вычислений фундаментальной разницы между ними нет по следующей причине. Если можем осуществить процесс доказательства, то, прикладывая лишь немного дополнительных усилий, можно вести запись всего важного, что происходит во время этого процесса. Эта запись, будучи физическим объектом, составит доказательство в смысле последовательности утверждений. И наоборот, если бы у нас была такая запись, мы могли бы прочитать ее, проверить, удовлетворяет ли она правилам вывода, и в ходе этого процесса мы докажем наше заключение. Другими словами, в классическом случае переход между процессом доказательства и объектом доказательства — это всегда легко решаемая задача.

Теперь давайте рассмотрим некоторое математическое вычисление, которое является трудным для всех классических компьютеров, но предположим, что квантовый компьютер легко может выполнить это вычисление, задействовав интерференцию между, скажем, 10^{500} вселенными. Чтобы сделать тезис более четким, пусть вычисление будет таким, что ответ после его получения (в отличие от результата разложения на множители) невозможно проверить с помощью легкоосуществимых вычислений. Процесс программирования квантового компьютера для выполнения вычислений такого рода, запуск программы и получение результата составляет доказательство того, что математическое вычисление дает именно этот конкретный результат.

Но в этом случае не существует способа записать все, что произошло в процессе доказательства, потому что большая часть всего этого протекала в других вселенных, а измерение состояния вычисления изменило бы интерференционные свойства и тем самым нарушило бы корректность доказательства. Таким образом, создание старомодного *объекта* доказательства оказывается невозможным; более того, во Вселенной, как мы ее знаем, и близко нет такого количества материала, чтобы создать подобный объект, поскольку

в этом доказательстве больше шагов, чем существует атомов в известной Вселенной. Этот пример показывает, что возможность квантовых вычислений делает эти два понятия доказательства не эквивалентными. Интуиция доказательства как объекта не охватывает все способы, с помощью которых можно доказать математическое утверждение в реальности.

И вновь мы видим неадекватность традиционного математического метода достижения уверенности попытками устранения из нашей интуиции всех возможных источников неопределенности и ошибок, пока не останется одна только самоочевидная истина. Именно так поступал Гёдель. Именно так поступали Чёрч, Пост и особенно Тьюринг, когда пытались интуитивно постичь свои универсальные модели вычисления. Тьюринг надеялся, что его модель с абстрактной бумажной лентой настолько проста, настолько открыта и хорошо определена, что не зависит ни от каких допущений относительно физики, которые можно было бы в принципе опровергнуть, и, следовательно, она может стать фундаментом абстрактной теории вычислений, независимой от лежащей в ее основе физики. «Он считал, — как однажды сказал Фейнман, — что он понял бумагу». Но он ошибался. Реальная, квантово-механическая бумага очень сильно отличается от абстрактного материала, используемого машиной Тьюринга. Машина Тьюринга является всецело классической, она не принимает во внимание возможность того, что в различных вселенных на бумаге могут быть написаны различные символы, и что они могут интерферировать друг с другом. Безусловно, искать интерференцию между различными состояниями бумажной ленты непрактично. Но дело в том, что интуиция Тьюринга, из-за того, что в ней содержались ложные допущения из классической физики, заставила его абстрагироваться от некоторых *вычислительных* свойств его гипотетической машины — тех самых свойств, которые он намеревался сохранить. Именно поэтому результирующая модель вычисления оказалась неполной.

Различные ошибки, которые математики во все времена допускали в том, что касается доказательств и их надежности, вполне естественны. Настоящее обсуждение должно сформировать ожидание того, что современная точка зрения тоже не будет вечной.

Но уверенность, с которой математики держались за эти недоразумения, а также их неспособность признать саму возможность ошибки во всем этом — следствие, на мой взгляд, древней и широко распространенной путаницы между *методами* математики и ее *предметом*. Сейчас я это поясню. В отличие от отношений между физическими сущностями, отношения между абстрактными сущностями не зависят от каких бы то ни было непредвиденных фактов и законов физики. Они полностью и объективно определяются автономными свойствами самих абстрактных сущностей. Математика, изучающая эти отношения и свойства, таким образом, изучает *абсолютно необходимые истины*. Другими словами, истины, *изучаемые* математикой, являются абсолютно надежными. Но это не значит, что наше знание этих необходимых истин само по себе является надежным и методы математики придают необходимую истинность своим выводам. Как-никак, математика изучает еще и ложные утверждения и парадоксы. И это не означает, что выводы из подобного изучения непременно являются ложными или парадоксальными.

Необходимая истина — это всего лишь *предмет* математики, а не награда, которую мы получаем за занятия математикой. Математическая уверенность не является и не может являться целью математики. Ее целью является даже не математическая истина, надежная или какая-нибудь еще. Ее целью является и должно являться математическое объяснение.

Почему же тогда математика работает так, как она работает? Почему она ведет к выводам, которые, несмотря на отсутствие надежности, можно принимать и без проблем применять в течение тысячелетий? Причина в том, что *некоторая часть* нашего знания физического мира столь же надежна и непротиворечива. А когда мы понимаем физический мир достаточно хорошо, мы также понимаем, какие физические объекты имеют общие свойства с абстрактными. Но, в принципе, надежность нашего знания математики остается зависимой от нашего знания физической реальности. Корректность каждого математического доказательства полностью зависит от того, правы ли мы относительно законов, управляющих поведением некоторых физических объектов, будь то генераторы

виртуальной реальности, чернила и бумага или наш собственный мозг.

Таким образом, математическая интуиция — это вид физической интуиции. Физическая интуиция — это набор эмпирических правил (часть из которых, возможно, врожденные, а большинство — развившиеся в детстве) о том, как ведет себя физический мир. Например, у нас есть интуитивное представление о существовании физических объектов и того, что эти объекты обладают определенными свойствами: формой, цветом, массой и положением в пространстве, и некоторые из этих свойств существуют, даже когда за этими объектами не наблюдают. Другое такое представление заключается в том, что существует физическая переменная — время, — по отношению к которой свойства изменяются, но тем не менее объекты способны сохранять свою идентичность с течением времени. Еще одно заключается в том, что объекты взаимодействуют, и это взаимодействие может изменить некоторые их свойства. Математическая интуиция относится к тому способу, которым физический мир может демонстрировать свойства абстрактных сущностей. Одним из таких интуитивных представлений является абстрактный закон или, по крайней мере, объяснение, лежащее в основе поведения объектов. Интуитивное представление о том, что пространство допускает замкнутые поверхности, отделяющие «внутреннюю часть» от «наружной части», можно уточнить, преобразовав ее в математическую интуицию *множества*, разделяющего все на члены и не-члены этого множества. Однако дальнейшее уточнение математиками (начиная с опровержения Расселом теории множеств Фреге) показало, что это представление перестает быть точным, когда рассматриваемое множество содержит «слишком много» членов (слишком большую степень бесконечности членов).

Даже если бы хоть какая-то физическая или математическая интуиция была врожденной, это не придавало бы ей какого-то особого авторитета. Врожденную интуицию невозможно считать суррогатом «воспоминаний» Платона о мире форм, поскольку общеизвестно, что многие интуитивные представления, которые случайно развились у людей в процессе эволюции, просто ложны. Например, человеческий глаз и управляющее им «программное обеспечение»

невным образом воплощают ложную теорию о том, что желтый свет состоит из смеси красного и зеленого света (в смысле, что желтый свет дает нам точно такое же ощущение, как и смесь красного и зеленого света). В реальности все три типа света имеют разные частоты и не могут быть созданы посредством смешивания света других частот. Тот факт, что смесь красного и зеленого света кажется нам желтым светом, не имеет ничего общего со свойствами света, но связан со свойствами наших глаз. Это результат компромисса, имевшего место на каком-то древнем этапе эволюции наших далеких предков. Конечно, возможно (хотя я в это не верю), что геометрия Евклида или логика Аристотеля каким-то образом встроены в структуру нашего мозга, как считал философ Иммануил Кант. Но из этого логически не следует их истинность. Даже если представить еще более невероятный случай, что у нас есть врожденные интуитивные представления, от которых мы не в состоянии избавиться, такая интуиция все равно не будет необходимой истиной.

Таким образом, ткань реальности имеет более однородную структуру, чем это могло бы быть, окажись математическое знание надежно верифицируемым, а, значит, иерархическим, как считалось традиционно. Математические сущности являются частью структуры реальности, поскольку они сложны и автономны. Создаваемая ими реальность некоторым образом похожа на царство абстракций, которое рисуют Платон и Пенроуз: будучи по определению неосязаемыми, они объективно существуют и имеют свойства, независимые от законов физики. Однако именно физика позволяет нам приобрести знание об этом царстве. И она накладывает строгие ограничения. Если в физической реальности постижимо все, то постижимые математические истины составляют бесконечно малое меньшинство тех, которые в точности соответствуют каким-то физическим истинам — вроде того факта, что при определенных манипуляциях определенными символами, записанными чернилами на бумаге, появятся другие определенные символы. Иначе говоря, это и есть те истины, которые можно представить в виртуальной реальности. У нас нет другого выбора, кроме как принять то, что непостижимые математические сущности тоже реальны,

так как они возникают неустранимым образом в наших объяснениях постижимых сущностей.

Существуют физические объекты, например, пальцы, компьютеры и мозг, поведение которых может моделировать поведение определенных абстрактных объектов. Тем самым структура физической реальности открывает нам окно в мир абстракций. Это очень узкое окно, оно предоставляет только ограниченный обзор. Некоторые из структур, которые мы видим из него, например, натуральные числа или правила вывода классической логики, кажутся важными или «фундаментальными» для абстрактного мира, так же как глубокие законы природы фундаментальны для физического мира. Но эта видимость может ввести в заблуждение, поскольку в действительности мы видим только то, что некоторые абстрактные структуры фундаментальны *по отношению к нашему пониманию* абстракций. У нас нет никакой причины считать, что эти структуры объективно важны в абстрактном мире. Просто некоторые абстрактные сущности ближе, чем другие, и их проще увидеть из нашего окна.

Терминология

Математика — изучение абсолютно необходимых истин.

Доказательство — способ установления истинности математических утверждений.

Традиционное определение: последовательность утверждений, которая начинается с некоторых посылок, заканчивается желаемым выводом и удовлетворяет определенным «правилам вывода».

Лучшее определение: вычисление, моделирующее свойства некоторой абстрактной сущности, результат которого устанавливает, что абстрактная сущность обладает данным свойством.

Математическая интуиция (традиционное определение) — высший самоочевидный источник обоснования математического рассуждения.

В реальности: множество теорий (осознанных и неосознанных) о поведении определенных физических объектов, которое моделирует поведение интересных абстрактных сущностей.

Интуиционизм — доктрина, состоящая в том, что все рассуждения об абстрактных сущностях ненадежны, кроме того случая, когда они основаны на прямой самоочевидной интуиции. Это математическая версия солипсизма.

Десятая проблема Гильберта — «раз и навсегда установить надежность математических методов», найдя набор правил вывода, достаточный для всех корректных доказательств, и затем доказать непротиворечивость этих правил в соответствии с их собственными стандартами.

Теорема Гёделя о неполноте — доказательство того, что десятая проблема Гильберта не имеет решения. Для любого набора правил вывода существуют корректные доказательства, которые эти правила не определяют как таковые.

Резюме

Сложные и автономные абстрактные сущности объективно существуют и являются частью структуры реальности. Существуют логически необходимые истины об этих сущностях, которые и составляют предмет математики. Однако эти истины невозможно знать с полной уверенностью. Доказательства не гарантируют достоверность своих выводов. Корректность конкретной формы доказательства зависит от истинности наших теорий о поведении объектов, с помощью которых осуществляется доказательство. Следовательно, математическое знание по сути своей производно и полностью зависит от нашего знания физики. Постижимые математические истины — это в точности то бесконечно малое меньшинство, которое можно воспроизвести в виртуальной реальности. Однако непостижимые математические категории (например, CGT-среды) тоже существуют, так как они появляются неустранимым образом в наших объяснениях постижимых сущностей.

Я уже говорил, что вычисление всегда было квантовой концепцией, потому что классическая физика несовместима с интуитивными представлениями, которые создали основу классической теории вычислений. То же самое относится и ко времени. За тысячи лет до квантовой теории время было первой квантовой концепцией.

11

Время: первая квантовая концепция

Как движется к земле морской прибой,
Так и ряды бесчисленные минут,
Сменяя предыдущие собой,
Поочередно к вечности бегут.
Уильям Шекспир. Сонет 60

Будучи одним из наиболее знакомых свойств физического мира, время имеет репутацию глубоко загадочного. Загадка — часть самого понятия времени, с которым мы растем. Блаженный Августин, например, сказал: «Что же такое время? Если никто меня об этом не спрашивает, я знаю, что такое время; если бы я захотел объяснить спрашивающему — нет, не знаю» («Исповедь»).

Мало кто считает, что расстояние загадочно, но то, что время загадочно, знают все. И вся загадочность времени проистекает из его основного логического свойства, а именно, что настоящий момент, который мы называем «сейчас», не стационарен, а постоянно движется в направлении будущего. Это движение называется *течением* времени.

Мы увидим, что течения времени не существует. Тем не менее такое представление совершенно обыденно. Мы принимаем это как должное настолько, что это принимается в самой структуре нашего языка. В «Полной грамматике английского языка»

(A Comprehensive Grammar of the English Language) Рэндольф Квирк и его соавторы объясняют концепцию времени с помощью диаграммы, показанной на рис. 11.1. Каждая точка на линии представляет конкретный стационарный момент. Треугольник « ∇ » показывает, где на линии расположена «непрерывно движущаяся точка, настоящий момент». Считается, что она движется слева направо. Некоторые люди, как Шекспир в процитированном выше сонете, считают определенные события «фиксированными», а саму линию — движущейся мимо них (справа налево на рис. 11.1), так что моменты из будущего проносятся мимо настоящего момента, чтобы стать прошлыми моментами.

Что мы подразумеваем под высказыванием «время можно считать линией»? Мы подразумеваем, что точно так же, как линию можно считать последовательностью точек в различных положениях, так и любой движущийся или изменяющийся объект можно считать последовательностью неподвижных «снимков» самого себя, по одному варианту в каждый момент. Сказать, что каждая точка линии представляет конкретный момент, все равно что сказать, что можно представить все снимки собранными вдоль линии, как на рис. 11.2. Некоторые из них показывают вращающуюся стрелку, какой она была в прошлом, другие показывают, какой она будет в будущем, а один из них — тот, на который сейчас показывает движущийся треугольник — показывает стрелку такой, какая она сейчас, хотя через мгновение этот конкретный вариант стрелки будет в прошлом, потому что « ∇ » передвинется. Совокупность мгновенных вариантов объекта *является* движущимся объектом в том же смысле, в каком последовательность неподвижных картинок, спроецированных на экран, в совокупности *является* фильмом (движущейся картинкой). Ни одна из них в отдельности не изменяется. Изменения состоят в том, что на них последовательно указывает («освещает») движущийся « ∇ » («кинопроектор»), так что друг за другом, по очереди они оказываются в настоящем.

Современные грамматисты стараются не давать субъективных оценок относительно использования языка; они стараются только записывать, анализировать и понимать его. Следовательно, Квирк с соавторами никак нельзя осудить за качество теории времени,

описываемой ими. Они не претендуют на то, что это хорошая теория. Они претендуют только на то, и по-моему, довольно правильно, что это *наша* теория. К сожалению, эта теория не хороша. Скажем прямо, причина того, что теория времени изначально загадочна, состоит в том, что она изначально бессмысленна. Дело не совсем в том, что она фактически неточна. Мы увидим, что она не имеет смысла даже в своих собственных положениях.

«Время можно считать линией (теоретически линией бесконечной длины), на которой расположен, как постоянно движущаяся точка, настоящий момент. Все, что находится перед настоящим моментом, — в будущем, все, что находится за настоящим моментом, — в прошлом».

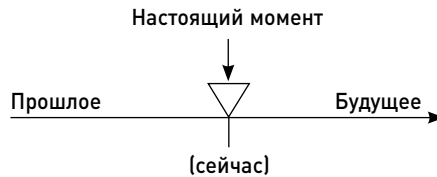


Рис. 11.1. Общеизвестная концепция времени, принятая в английском языке (Quirk et al., *A Comprehensive Grammar of the English Language*, p. 175)

Возможно, вас это удивит. Мы привыкли видоизменять свой здравый смысл, чтобы приспособиться к научным открытиям. Здравый смысл часто оказывается ложным, даже крайне ложным. Но для здравого смысла необычно быть *бессмысленным* в том, что касается повседневного опыта. Тем не менее именно это и происходит в данном случае.

Рассмотрим снова рис. 11.2. Он иллюстрирует движение двух сущностей. Один из них — это вращающаяся стрелка, показанная в виде последовательности снимков. Другой — движущийся «настоящий момент», который перемещается по картинке слева направо. Однако движение настоящего момента не показано на картинке в виде последовательности снимков. Вместо этого один конкретный момент выделен с помощью знака «▽», более темных линий и единственной надписи «(сейчас)». Таким образом, хотя надпись гласит, что «сейчас» движется по картинке, показан только один его снимок, в один конкретный момент.

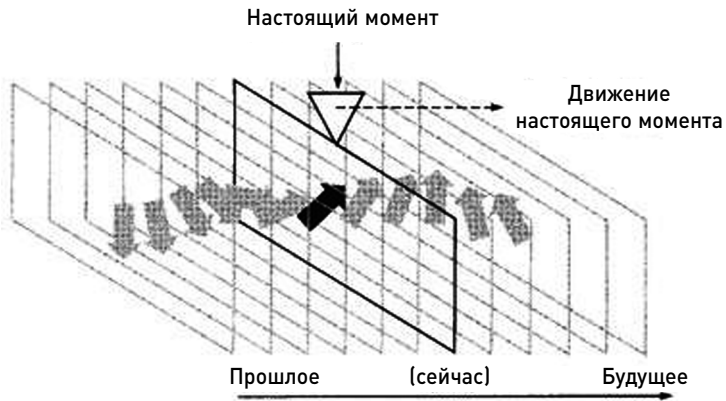


Рис. 11.2. Движущийся объект как последовательность «снимков», которые один за другим становятся настоящим моментом

Почему? Как-никак, основная цель этого рисунка — показать, что происходит не в один момент, а за более длительный период. Если бы мы хотели, чтобы на рисунке был показан только один момент, нам было бы незачем показывать более чем один снимок вращающейся стрелки. Рисунок должен иллюстрировать разумную теорию о том, что любой движущийся или изменяющийся объект является последовательностью снимков, по одному снимку на каждый момент. Таким образом, если « ∇ » движется, почему мы не показываем последовательность и его снимков? Один показанный снимок должен быть только одним из множества снимков, которые существовали бы, если бы этот рисунок точно описывал, как работает время. В действительности в таком виде этот рисунок определенно вводит в заблуждение: он показывает, что « ∇ » *не* движется, а скорее начинает существовать в конкретный момент, а потом немедленно прекращает свое существование. Если бы это было так, это сделало бы «сейчас» *фиксированным* моментом. И неважно, что я добавил надпись «Движение настоящего момента» и штрихпунктирную линию, которая показывает, что « ∇ » движется вправо. Сам рисунок, так же как и диаграмма Квирка и соавторов (рис. 1.1), показывает, что « ∇ » никогда не достигнет никакого момента, отличного от выделенного.

В лучшем случае можно было бы сказать что рис. 11.2 — это рисунок-гибрид, который извращенно иллюстрирует движение двумя различными способами. В отношении движущейся стрелки он иллюстрирует обыденную теорию времени, известную из здравого смысла. Однако рисунок просто *утверждает*, что настоящий момент движется, при этом показывая его не движущимся. Как нам следует изменить рисунок, чтобы он проиллюстрировал привычную теорию времени в отношении движения настоящего момента — так же, как и движения стрелки? Включив другие снимки « ∇ », по одному на каждый момент: каждый снимок будет обозначать, где в этот момент находится «сейчас». А где оно находится? Очевидно, что в каждый момент «сейчас» является этим самым моментом. Например, в полночь « ∇ » должен указывать на снимок стрелки, сделанный в полночь; в 01:00 — на снимок, сделанный в 01:00 и т. д. Следовательно, рисунок должен выглядеть, как рис. 11.3.

Этот исправленный рисунок корректно иллюстрирует *движение*, но теперь у нас осталась сильно упрощенная концепция времени. Разумное представление о том, что движущийся объект является последовательностью мгновенных вариантов самого себя, осталось, но другое разумное представление — о потоке времени — исчезло. На этой картинке отсутствует «непрерывно движущаяся точка, настоящий момент», проносющаяся через все фиксированные моменты по очереди. Отсутствует и процесс, в соответствии с которым любой стационарный момент начинается в будущем, становится настоящим, а затем уходит в прошлое. Многочисленные экземпляры символов « ∇ » и «(сейчас)» уже не отличают один момент от другого, а следовательно, являются излишними. Рисунок точно так же проиллюстрировал бы движение вращающейся стрелки, если бы этих изображений не было.

Таким образом, на этом рисунке нет одного «настоящего момента» — только субъективно! С точки зрения наблюдателя в некоторый конкретный момент, этот момент действительно выделяется, и этот наблюдатель может назвать именно его «сейчас», точно так же как любое положение в пространстве выделяется как «здесь» с точки зрения наблюдателя, который находится в этом положении. Однако объективно ни один момент не имеет больше прав назы-

ваться «сейчас», чем все остальные, так же, как ни одно положение не имеет большей привилегии называться «здесь», чем все другие. Субъективное «здесь» может перемещаться в пространстве по мере перемещения наблюдателя. Может ли субъективное «сейчас» точно так же перемещаться во времени? Верны ли все-таки рис. 11.1 и 11.2 в том, что иллюстрируют время с точки зрения наблюдателя в конкретный момент? Конечно, нет. Даже субъективно «сейчас» не *движется во времени*. Часто говорят, что *кажется*, словно настоящее движется вперед во времени, потому что настоящее определяется только по отношению к нашему сознанию, а наше сознание движется вперед через моменты. Однако наше сознание не делает этого, да и не могло бы делать. Говоря, что наше сознание, «кажется», переходит от одного момента к следующему, мы попросту пересказываем теорию потока времени. Но думать о том, что единственный «момент, который мы осознаем», движется от одного момента к другому, не более осмысленно, чем думать о единственном настоящем моменте или о чем-либо еще, что ведет себя так. *Ничто* не может двигаться от одного момента к другому. Существовать в каком-то конкретном моменте — значит существовать там вечно. Наше сознание существует во *всех* моментах — конечно, когда мы не спим.

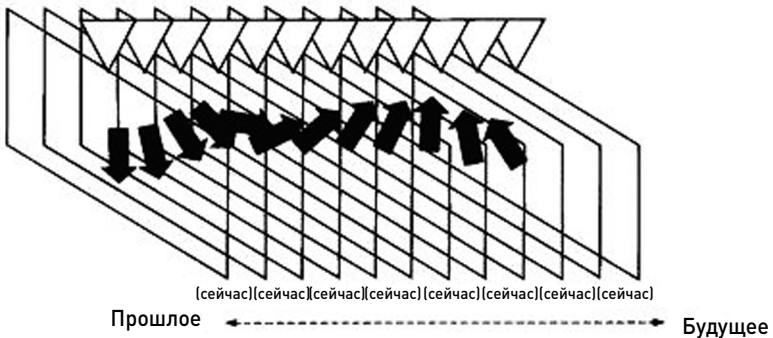


Рис. 11.3. В каждый момент «сейчас» является этим самым моментом

Конечно, различные снимки наблюдателя воспринимают как «сейчас» различные моменты. Но это не значит, что сознание наблюдателя — или любая другая движущаяся или изменя-

ющаяся сущность — движется во времени, как должен двигаться настоящий момент. Различные снимки наблюдателя не находятся в настоящем по очереди. Они не становятся по очереди осознающими свое настоящее. Они все являются осознающими, и субъективно они все находятся в настоящем. Объективно настоящего не существует.

Мы не ощущаем, что время течет или проходит. Мы чувствуем различия между нашими настоящими ощущениями и нашими настоящими воспоминаниями о прошлых ощущениях. Мы правильно интерпретируем эти различия как свидетельство того, что со временем вселенная меняется. Но кроме того, мы неправильно интерпретируем их как свидетельство того, что наше сознание, или настоящее, или что-либо еще, движется во времени.

Если бы движущееся настоящее по своей прихоти остановилось на день или два, а затем снова начало бы двигаться в десять раз быстрее, чем до остановки, что мы стали бы осознавать? Ничего особенного — или, скорее, этот вопрос не имеет смысла. Не существует ничего, что могло бы двигаться, останавливаться или течь. Не существует также ничего, что можно было бы осмысленно назвать «скоростью» времени. Все, что существует во времени, должно принимать форму неизменных снимков, расположенных вдоль временной линии. Это включает и сознательный опыт всех наблюдателей вместе с их ошибочной интуицией о том, что время «течет». Они могут представлять, как «движущееся настоящее» перемещается вдоль линии, останавливается и снова начинает двигаться, или даже возвращается назад, или совсем прекращает свое существование. Но даже если это вообразить, этого все равно не произойдет. Ничто не может двигаться вдоль этой линии. Время не может течь.

Идея о потоке времени фактически предполагает существование второго сорта времени, помимо разумного понимания времени как последовательности моментов. Если бы «сейчас» действительно двигалось от одного момента к другому, это происходило бы по отношению к этому *внешнему* времени. Но серьезное отношение к этой идее приводит к бесконечному регрессу, поскольку в этом случае нам пришлось бы представить само внешнее время как последовательность моментов с его собственным «на-

стоящим моментом», движущимся относительно еще более внешнего времени, и т. д. На каждом шагу поток времени не имел бы смысла, пока мы не отнесли бы его к потоку внешнего времени, *и так до бесконечности*. На каждом шагу у нас была бы концепция, не имеющая смысла; и вся бесконечная иерархия тоже не имела бы смысла.

Ошибка такого рода проистекает из нашей привычки к тому, что время является внешней конструкцией по отношению к любой физической сущности, которую мы можем рассматривать. Мы привыкли представлять физический объект как потенциально изменяющийся и, таким образом, существующий в виде последовательности вариантов самого себя в различные моменты. Но сама последовательность моментов на рисунках, подобных рис. 11.1–11.3, является исключительной сущностью. Она не существует во временных рамках — она *является* рамками, или конструкцией, времени. Поскольку вне ее нет времени, нелогично представлять себе, что она изменяется или что существует более чем в одном последовательном варианте. Это усложняет восприятие подобных рисунков. Сам рисунок, как и любой другой физический объект, существует в течение какого-то промежутка времени и состоит из многочисленных вариантов самого себя. Однако то, что *изображает* рисунок, — а именно, последовательность вариантов чего-либо — существует только в одном варианте. Ни одно аккуратное изображение рамок времени не может быть движущимся или изменяющимся рисунком. Оно должно быть статичным. Но в принятии этого есть неотъемлемая психологическая трудность. Несмотря на статичность рисунка, мы не можем воспринимать его статично. Он показывает последовательность моментов одновременно на странице, и чтобы отнести это к нашему опыту, фокус нашего внимания должен перемещаться вдоль этой последовательности. Например, мы могли бы посмотреть на один снимок и принять, что он представляет «сейчас», а момент спустя посмотреть на снимок справа от него и решить, что он представляет новое «сейчас». Поэтому мы склонны путать истинное движение фокуса нашего внимания всего лишь по *рисунку* с невозможным движением чего-либо через реальные моменты. Это очень легко сделать.

Однако эта проблема заключается не только в сложности *иллюстрации* основанной на здравом смысле теории времени. Сама эта теория содержит существенную и глубокую неоднозначность: она не может решить, является ли настоящее объективно одним моментом или многими моментами — и следовательно, например, изображает ли рис. 11.1 один момент или много. Здравый смысл требует, чтобы настоящее было одним моментом, чтобы разрешить поток времени — разрешить, чтобы настоящее перемещалось через моменты от прошлого к будущему. Однако здравый смысл также требует, чтобы время было последовательностью моментов с движением и изменением, а все движение и все изменения состояли из различий между вариантами некой сущности в различные моменты. А это значит, что сами моменты неизменны. Таким образом, конкретный момент не может стать настоящим или перестать быть настоящим, ибо это было бы изменением. Следовательно, настоящее объективно не может быть одним моментом.

Причина, по которой мы придерживаемся этих двух несовместимых концепций — движущегося настоящего и последовательности неизменных моментов, — состоит в том, что они обе нужны нам, или, скорее, мы думаем, что они нужны нам. Мы непрерывно применяем их в своей повседневной жизни, но никогда не используем обе сразу. Когда мы *описываем* события и указываем, когда они произошли, мы думаем на языке последовательности неизменных моментов; когда же мы *объясняем* события как причины и следствия друг друга, мы думаем на языке движущегося настоящего.

Например, говоря, что Фарадей открыл электромагнитную индукцию «в 1831 году», мы приписываем это событие определенной цепочке моментов. То есть мы определяем, на каком наборе снимков в длинной последовательности снимков всемирной истории нужно искать это открытие. Никакой поток времени не упоминается при описании, *когда* нечто случилось, — точно так же, как не задействуется «поток расстояния», когда мы говорим, *где* это случилось. Но как только мы говорим, *почему* что-либо произошло, мы вызываем поток времени. Когда мы говорим, что отчасти обязаны своими электрическими двигателями и динамо-машинами Фарадею и что последствия его открытия чувствуются до сего дня,

в нашем разуме возникает картина последствий, которые начались в 1831 году и последовательно пронеслись через все моменты оставшейся части XIX века, затем достигли XX века и стали причиной появления там, например, электростанций. Если мы невнимательны, мы посчитаем, что XX век изначально «еще не чувствовал» это важное событие 1831 года, но затем его «изменили» последствия, прокладывающие свой путь к XXI веку и далее. Но обычно мы внимательны и избегаем этой нелогичной мысли, никогда не используя обе части основанной на здравом смысле теории времени одновременно. Мы делаем это только тогда, когда думаем о самом времени, и тогда мы изумляемся загадочности всего этого! Возможно, в данном случае лучше подойдет слово «парадокс», а не «тайна», поскольку в данном случае возникает вопиющий конфликт между двумя на первый взгляд самоочевидными идеями. Обе они не могут быть истинными, но мы увидим, что *ни одна из них не является истинной*.

Наши физические теории, в отличие от здравого смысла, должны быть логически самосогласованными, и впервые они достигают этого при отказе от идеи о потоке времени. Конечно, физики *говорят* о потоке времени точно так же, как говорят о нем все остальные. Например, в своей книге «Математические начала натуральной философии», где излагались принципы механики и гравитации, Ньютон писал: «Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно».

Однако Ньютон мудро не пытается перевести свое утверждение о том, что время течет, в математическую форму или сделать из него какие-то выводы. Ни одна из физических теорий Ньютона не обращается к потоку времени, как не обращается к нему и не совместима с ним ни одна из последующих физических теорий.

Так почему же Ньютон счел необходимым сказать, что время «протекает равномерно»? С «равномерно» все в порядке: можно интерпретировать это как означающее, что измерения времени одинаковы для всех наблюдателей, находящихся в различных положениях и в различных состояниях движения. Это существенное

утверждение (которое, как мы знаем со времен Эйнштейна, является неточным). Но его легко можно было бы сформулировать так, как я сформулировал его сейчас, не говоря, что время течет. Я считаю, что Ньютон намеренно использовал знакомый язык времени, не подразумевая его буквальное значение: точно так же он мог бы свободно сказать о том, что Солнце «всходит». Ему необходимо было передать читателю, приступившему к чтению этой революционной работы, что в концепции времени Ньютона нет ничего нового или сложного. «Начала» дают множеству слов, таких как «сила» и «масса», точные технические значения, которые несколько отличаются от тех, что приняты на уровне здравого смысла. Однако числа, на которые ссылаются как на «время», — это всего лишь общепринятое время, которое мы находим на часах и календарях, и концепция времени в «Началах» — это концепция, основанная на здравом смысле.

За исключением того, что время не течет. В физике Ньютона время и движение выглядят примерно как на рис. 11.3. Одно небольшое отличие состоит в том, что я нарисовал следующие друг за другом моменты отдельно друг от друга, но во всей доквантовой физике это является аппроксимацией, потому что время — континуум. Мы должны представить бесконечно много бесконечно тонких снимков, непрерывно вставленных между нарисованными мною. Если каждый снимок представляет все во всем пространстве, которое физически существует в определенный момент, то можно считать, что эти снимки склеены друг с другом своей лицевой стороной и образуют один неизменный блок, содержащий все, что происходит в пространстве и времени (рис. 11.4) — то есть всю физическую реальность. Неизбежный недостаток диаграммы такого рода состоит в том, что снимки пространства в каждый момент показаны как двухмерные, тогда как в реальности они трехмерны. Каждый из них — это пространство в определенный момент. Таким образом, мы считаем время четвертым измерением, аналогичным трем пространственным измерениям в классической геометрии. Пространство и время, рассматриваемые совместно в виде четырехмерной сущности, называют *пространством-временем*.

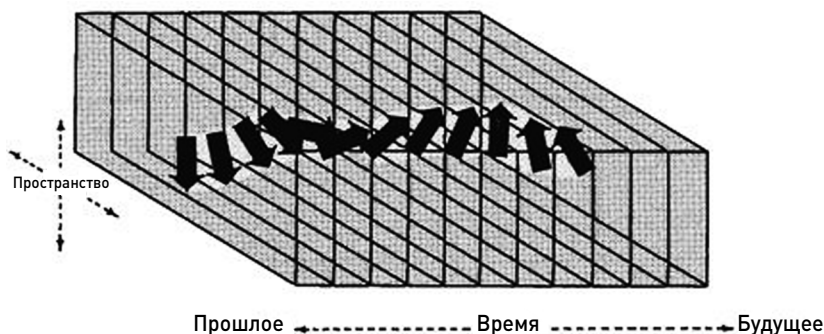


Рис. 11.4. Пространство-время, рассматриваемое как последовательные моменты

В физике Ньютона эта четырехмерная геометрическая интерпретация времени была необязательной, но с появлением теории относительности Эйнштейна она стала неотъемлемой частью этой теории. Так произошло потому, что в соответствии с теорией относительности наблюдатели, которые движутся с разными скоростями, не придут к согласию относительно того, какие события являются одновременными. Иначе говоря, они не придут к согласию относительно того, какие события должны появиться на одном и том же снимке. Таким образом, каждый из них воспринимает пространство-время как разрезанное на «моменты» различным образом. Тем не менее, если бы каждый из них собрал свои снимки, как показано на рис. 11.4, получились бы идентичные пространства-времена. Следовательно, в соответствии с теорией относительности «моменты», изображенные на рис. 11.4, не являются объективными характеристиками пространства-времени: они являются всего лишь способом восприятия одновременности одним наблюдателем. Другой наблюдатель получил бы слои «сейчас» под другим углом. Таким образом, объективную реальность, стоящую за рис. 11.4, а именно пространство-время и его физическое содержание, можно было бы показать с помощью рис. 11.5.

Пространство-время иногда называют «блок-вселенной», потому что в нем вся физическая реальность — прошлое, настоящее и бу-

дущее — представлена раз и навсегда «замороженной» в одном четырехмерном блоке. По отношению к пространству-времени ничто не движется. То, что мы называем «моментами», — это определенные слои пространства-времени, и когда содержание этих слоев отличается друг от друга, мы называем это изменением или движением в пространстве.

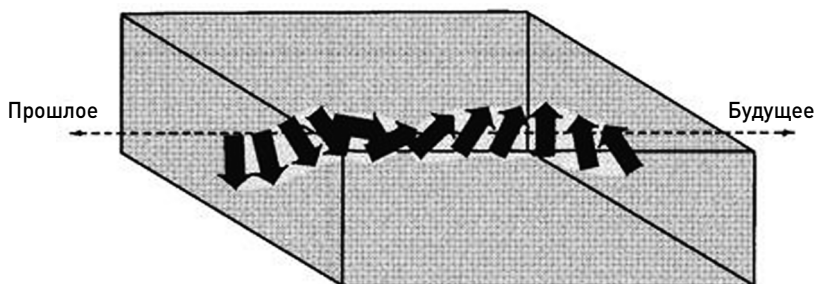


Рис. 11.5. Движущийся объект с точки зрения пространства-времени

Как я уже сказал, мы думаем о потоке времени в связи с причинами и следствиями. Мы считаем, что причины предшествуют своим следствиям; мы воображаем, что движущееся настоящее подходит к причинам до того, как подойдет к их следствиям, а также представляем, что следствия текут вперед вместе с настоящим моментом. С философской точки зрения, наиболее важными причинно-следственными процессами являются наши сознательные решения и последующие действия. Взгляд с точки зрения здравого смысла заключается в том, что мы обладаем *свободной волей*: что иногда мы в состоянии повлиять на будущие события (например, движение своего собственного тела) одним из нескольких возможных способов и выбрать, какой из способов случится, тогда как на прошлое, напротив, мы никогда не в состоянии повлиять. (К свободной воле я вернусь в главе 13.) Прошлое неизменно, будущее открыто. Для многих философов поток времени — это процесс, в котором открытое будущее становится, момент за моментом, неизменным прошлым. Другие говорят, что альтернативные события в каждый момент будущего являются *возможностями*, а поток вре-

мени — это процесс, в котором момент за моментом одна из этих возможностей становится *действительностью* (так что в соответствии с мнением этих людей будущее не существует совсем, пока поток времени не достигнет его и не превратит в прошлое). Но если будущее действительно открыто (а оно открыто!), то это не может иметь ничего общего с потоком времени, поскольку потока времени нет. В физике пространства-времени (которой по существу является вся доквантовая физика, начиная с физики Ньютона) будущее не открыто. Оно находится *там*, с определенным и неизменным содержанием, так же как прошлое и настоящее. Если бы определенный момент в пространстве-времени был «открыт» (в любом смысле), он непременно остался бы открытым, когда стал бы настоящим и прошлым, поскольку моменты не способны изменяться.

Субъективно можно сказать, что будущее данного наблюдателя «открыто с точки зрения этого наблюдателя», потому что никто не может измерить или пронаблюдать свое будущее. Но открытость в таком субъективном смысле не оставляет выбора. Если у вас есть билет лотереи, которая состоялась на прошлой неделе, но вы еще не узнали, выиграли ли вы, — вопрос об исходе остается открытым с вашей точки зрения даже несмотря на то, что объективно он уже зафиксирован. Однако субъективно ли, объективно ли, вы не в состоянии его изменить. Никакие причины, которые уже не повлияли на него, больше не смогут этого сделать. Теория о свободной воле, основанная на здравом смысле, гласит, что на прошлой неделе, в то время как у вас все еще был выбор, покупать или нет лотерейный билет, будущее все еще было объективно открытым, и вы действительно могли выбрать один из двух или нескольких вариантов. Однако это несовместимо с пространством-временем. Таким образом, в соответствии с физикой пространства-времени открытость будущего есть иллюзия, а следовательно, причинно-следственное отношение и свободная воля тоже не могут быть чем-то большим, чем иллюзии. Нам необходима вера — и мы стараемся сохранить ее — в то, что настоящие события, а особенно наш выбор, могут повлиять на будущее; но возможно, таким образом мы всего лишь справляемся с тем фактом, что мы не знаем будущего. В реальности мы не делаем выбор. Даже когда мы думаем,

что стоим перед выбором, его результат уже существует на соответствующем слое пространства-времени, неизменном, как и все остальное в пространстве-времени, и невосприимчивом к нашим намерениям. Кажется, что сами эти намерения неизменны и уже существуют в выделенных им моментах еще до того, как мы даже узнаем о них.

Быть «следствием» какой-то причины — значит подвергаться влиянию этой причины и быть измененным из-за этой причины. Таким образом, когда физика пространства-времени отрицает реальность потока времени, она логически не может согласовать даже основанные на здравом смысле понятия причины и следствия. Поскольку в блок-вселенной ничто не изменяемо, одна часть пространства-времени может изменить другую не больше, чем одна часть фиксированного трехмерного объекта может изменить другую.

Получается, что во времена физики пространства-времени все фундаментальные теории обладали следующим свойством: если известно все, что происходит до данного момента, законы физики определяют, что происходит во все последующие моменты. Свойство одних снимков быть определенными другими снимками называется *детерминизмом*. В физике Ньютона, например, если в любой момент известны положения и скорости всех масс в изолированной системе, например, в Солнечной системе, то в принципе можно вычислить (*предсказать*), где эти массы будут находиться во все последующие времена. Также в принципе можно вычислить (*восстановить*), где эти массы находились во все предыдущие времена.

Законы физики, определяющие один снимок из другого, — это «клей», который удерживает эти снимки вместе в виде пространства-времени. Представим, что мы по волшебству (что невозможно) оказались вне пространства-времени (а следовательно, в своем собственном внешнем времени, независимом от того, которое находится в пределах пространства-времени). Давайте разрежем пространство-время на снимки пространства в каждый момент, как его воспринимает конкретный наблюдатель, находящийся в пределах этого пространства-времени, потом перемешаем эти снимки и снова склеим их в другом порядке. Могли бы мы сказать, глядя извне, что это не есть реальное пространство-время? Почти

определенно. Первое: в перемешанном пространстве-времени физические процессы не были бы непрерывными. Объекты мгновенно прекращали бы свое существование в одной точке и снова появлялись бы в другой. Второе и более важное: законы физики уже не действовали бы. По крайней мере, реальные законы физики уже не действовали бы. Там существовал бы другой набор законов, которые, явно или неявно учитывая перемешивание, правильно описывали бы перемешанное пространство-время.

Таким образом, для нас разница между перемешанным и реальным пространством-временем была бы огромной. А для тех, кто живет там? Могли бы они заметить разницу? Сейчас мы опасно близки к бессмыслице — знакомой бессмыслице обычной теории времени. Но потерпите немного, и мы обойдем эту бессмыслицу. Конечно, живущие в этом пространстве-времени не смогли бы заметить разницу. Они заметили бы ее, если бы могли. Они, например, комментировали бы существование разрывностей в своем мире, издавали бы о них научные статьи — разумеется, если бы они вообще смогли выжить в перемешанном пространстве-времени. Но с нашей магической точки зрения мы видим, что они выжили и пишут свои научные труды. Мы можем прочитать эти труды и увидеть, что они по-прежнему содержат только наблюдения исходного пространства-времени. Все записи физических событий в пределах пространства-времени, включая и те, которые остались в воспоминаниях и восприятии сознательных наблюдателей, идентичны таковым в исходном пространстве-времени. Мы только перемешали снимки, а не изменили их внутреннее содержание, поэтому жители по-прежнему воспринимают их в исходном порядке.

Таким образом, на языке реальной физики — физики, как ее воспринимают жители этого пространства-времени, — все это разрезание и повторное склеивание пространства-времени не имеет смысла. Не только перемешанное пространство-время, но даже набор не склеенных друг с другом снимков физически идентичны исходному пространству-времени. Мы изображаем все снимки склеенными друг с другом в правильном порядке, потому что это отражает отношения между ними, определяемые законами физики. Набор этих снимков, склеенных в другом порядке, представил бы

те же самые физические события — ту же самую историю, — но некоторым образом исказил бы отношения между этими событиями. Таким образом, снимки обладают *присущим* им порядком, определяемым их содержанием и реальными законами физики. Любой из снимков в сочетании с законами физики не только определяет то, чем являются все остальные, он определяет их порядок и свое собственное место в последовательности. Другими словами, каждый снимок имеет «временную метку», закодированную в его физическом содержании.

Вот как все должно быть, если освободить концепцию времени от ошибки обращения к всеобъемлющей конструкции времени, которая является внешней по отношению к физической реальности. Временная метка снимка — это показания некоторых естественных часов, существующих в пределах этой вселенной. На некоторых снимках — на тех, которые содержат человеческую цивилизацию, например, — эти часы реальны. На других существуют физические переменные — такие, как химический состав Солнца или всей материи в пространстве, — которые можно рассматривать как часы, потому что они принимают определенные и отличные значения на разных снимках, по крайней мере, в пределах определенной области пространства-времени. Мы можем стандартизировать и калибровать их, чтобы согласовать друг с другом в местах, где они перекрываются.

Мы можем восстановить пространство-время, используя присущий порядок, определяемый законами физики. Мы начинаем с любого из снимков. Затем мы вычисляем, как должны выглядеть предыдущий и последующий снимки, находим эти снимки в оставшемся наборе и приклеиваем их к обеим сторонам исходного снимка. Повторение этих действий воссоздает все пространство-время. Такие вычисления слишком сложны, чтобы их можно было выполнить в реальной жизни, но они приемлемы в мысленном эксперименте, в котором мы представляем себя оторванными от реального физического мира. (Также, строго говоря, в доквантовой физике существовала бы непрерывная бесконечность снимков, так что только что описанный процесс пришлось бы заменить предельным процессом, в котором пространство-время собирается

за бесконечное число этапов; однако принцип остается тем же самым.)

Предсказуемость одного события на основе другого не означает, что эти события являются причиной и следствием. Например, теория электродинамики гласит, что все электроны переносят один и тот же заряд. Следовательно, используя эту теорию, мы можем предсказать — и часто предсказываем — результат измерения одного электрона, исходя из результата измерения другого. Но ни один результат не был *причиной* другого. В действительности, насколько нам известно, величина заряда электрона не вызвана никаким физическим процессом. Возможно, ее «вызывают» сами законы физики (хотя законы физики, насколько они нам сейчас известны, не предсказывают заряд электрона; они просто говорят, что все электроны имеют один и тот же заряд). Но в любом случае это пример событий (результатов измерений электронов), каждое из которых можно предсказать, исходя из другого, но которые не делают причинного вклада друг в друга.

Вот еще один пример. Если мы наблюдаем, где находится один элемент полностью собранной мозаики, и знаем формы всех элементов и то, что они правильно собраны, мы можем предсказать, где находятся все оставшиеся элементы. Но это не значит, что наблюдение элемента в определенном положении является *причиной* того, что все оставшиеся элементы находятся там, где они находятся. Существует ли такое причинно-следственное отношение, зависит от того, как мозаика в целом оказалась на этом месте. Если наблюдаемый нами элемент положили первым, то он действительно является одной из причин нахождения других элементов там, где они находятся. Если первым положили другой элемент, то положение наблюдаемого нами элемента было *следствием* этого, а не причиной. Но если мозаику создали единственным ударом лезвия, имеющего форму этой мозаики, и никогда не разбирали, то ни одно из положений элементов не было бы ни причиной, ни следствием других положений. Их ведь не собирали ни в каком порядке, а создали одновременно, в таком положении, что правила мозаики уже были бы соблюдены, что сделало эти положения взаимно предсказуемыми. Тем не менее ни одно из них не стало бы причиной других.

Детерминизм физических законов относительно событий в пространстве-времени подобен предсказуемости правильно собранной мозаики. Законы физики определяют, что происходит в один момент, исходя из того, что происходит в другой, точно так же как правила мозаики определяют положения некоторых элементов, исходя из положения других. Но как и в случае с мозаикой, то, являются ли события в различные моменты *причиной* друг друга или нет, зависит от того, как эти моменты оказались там. Глядя на мозаику, мы не можем сказать, была ли она собрана по кусочкам. Но в случае с пространством-временем нам известно, что бессмысленно «класть» один момент за другим, поскольку это было бы потоком времени. Следовательно, мы знаем, что, даже если некоторые события можно предсказать, исходя из других событий, ни одно событие в пространстве-времени не являлось причиной другого. Мне хотелось бы еще раз подчеркнуть, что все это верно в доквантовой физике, в которой все, что происходит, происходит в пространстве-времени. Мы видим, что пространство-время несовместимо с существованием причины и следствия. Дело не в том, что люди ошибаются, когда говорят, что определенные физические события являются причиной и следствием друг друга, дело в том, что интуиция несовместима с законами физики пространства-времени. Однако это нормально, поскольку физика пространства-времени ложна.

В главе 8 я сказал, что два условия должны быть выполнены, чтобы некая сущность стала причиной своей собственной репликации: во-первых, эта сущность действительно должна реплицироваться; и во-вторых, большая часть ее вариантов в этой же самой ситуации не должна реплицироваться. Это определение воплощает идею о том, что причина — это нечто важное для ее следствий, и оно работает и для причинно-следственного отношения в целом. Чтобы X стало причиной Y , должны выполняться два условия: во-первых, что и X , и Y произошли, и во-вторых, что Y не произошло бы, если бы X был другим. Например, причиной жизни на Земле был солнечный свет, потому что как солнечный свет, так и жизнь имеют место на Земле, и потому что жизнь не появилась бы, не будь солнечного света.

Таким образом, рассуждение о причинах и следствиях неизбежно касается и вариантов причин и следствий. Часто говорят, что если бы некое событие произошло, то при прочих равных условиях такое-то и такое-то события были бы другими. Историк мог бы высказать следующее суждение, что «если бы Фарадей умер в 1830 году, то развитие техники задержалось бы на двадцать лет». Смысл этого суждения кажется совершенно ясным и, поскольку в действительности Фарадей не умер в 1830 году, а открыл электромагнитную индукцию в 1831-м, оно выглядит довольно убедительным. Это все равно что технический прогресс, который действительно произошел, частично был вызван открытием Фарадея, а следовательно, и тем, что он не умер. Но что значит рассуждать в контексте физики пространства-времени о будущем неслучившихся событий? Если в пространстве-времени нет такого события, как смерть Фарадея в 1830 году, то там нет и последствий этого события. Конечно, мы можем *представить себе* пространство-время, содержащее такое событие; но тогда, поскольку мы всего лишь представляем его, мы также можем представить, что оно содержит любые придуманные нами последствия. Мы можем представить, например, что за смертью Фарадея последовало *ускорение* технического прогресса. Мы можем попытаться обойти эту неоднозначность, воображая себе только такие пространства-времена, в которых, несмотря на отличие рассматриваемого события от того, которое имело место в действительном пространстве-времени, действуют те же самые законы физики. Неясно, что оправдывает подобное ограничение нашего воображения, но в любом случае, если действуют те же самые законы физики, то рассматриваемое событие не могло быть другим, потому что законы недвусмысленно определяют его, исходя из предшествующей истории. Таким образом, пришлось бы представить и другую предшествующую историю. Насколько другую? Следствие придуманной нами вариации истории критически зависит от того, что мы будем подразумевать под «прочими равными условиями». А это выражение является неустранимо неоднозначным, поскольку существует бесконечно много способов придумать такое положение вещей до 1830 года, которое привело бы к смерти Фарадея в этом году. Некоторые из этих вещей

несомненно привели бы к ускорению технического прогресса, а другие — к замедлению. К каким из них мы обращаемся в своем высказывании «если... то...»? Как определить, что «прочие условия равны»? Как бы мы ни старались, мы не преуспеем в устранении этой неоднозначности в рамках физики пространства-времени. Невозможно избежать того факта, что в пространстве-времени в точности одно событие имеет место в реальности, а все остальное — фантазии.

Мы вынуждены сделать вывод, что в физике пространства-времени условные высказывания с ложными посылками («если бы Фарадей умер в 1830 году...») не имеют смысла. Логики называют такие высказывания *контрфактуальными*, то есть *условными высказываниями*, *противоречащими фактам*, и традиционно определяют их как парадоксы. Все мы знаем, что значат такие высказывания, однако, как только мы пытаемся точно изложить их смысл, кажется, что он тут же улетучивается. Источник этого парадокса не в логике и не в лингвистике, а в физике — в ложной физике пространства-времени. Физическая реальность — это не пространство-время. Это гораздо большая и более многообразная сущность, *мультиверс*. В первом приближении мультиверс подобен огромному количеству сосуществующих и слегка взаимодействующих пространств-времен. Если пространство-время подобно пачке снимков, причем каждый снимок является всем пространством в один момент, то мультиверс подобен огромной коллекции этих пачек. Даже это (как мы увидим) немного неправильное изображение мультиверса уже способно согласовать причины и следствия. Поскольку в мультиверсе почти определенно есть несколько вселенных, в которых Фарадей умер в 1830 году, то отстал ли технический прогресс в этих вселенных от нашего технического прогресса — вопрос факта (который не является наблюдаемым, но тем не менее объективен). В том, к каким вариантам нашей вселенной относится контрфактуальное условие «если бы Фарадей умер в 1830 году...», нет ничего произвольного: оно относится к *тем вариантам, которые действительно имеют место* где-то в мультиверсе. Именно это устраняет неоднозначность. Обращение к воображаемым вселенным не работает, потому что мы можем представить любые же-

лаемые нами вселенные в любых желаемых нами соотношениях. Но в мультиверсе вселенные присутствуют в определенных пропорциях, так что имеет смысл говорить, что некоторые типы событий «очень редки» или «очень часты» в мультиверсе и что некоторые события следуют за другими «в большинстве случаев». Большая часть логически возможных вселенных не присутствует совсем — например, не существует вселенных, в которых заряд электрона отличался бы от заряда электрона в нашей вселенной или в которых не работали бы законы квантовой физики. Законы физики, к которым неявно обращается контрфактуальное высказывание, — это законы, которым действительно подчиняются в других вселенных, а именно — законы квантовой теории. Следовательно, высказывание «если... то...» можно однозначно понять как означающее, что «в большинстве вселенных, в которых Фарадей умер в 1830 году, технический прогресс отстал от нашего». В общем, мы можем сказать, что событие X является причиной события Y в нашей вселенной, если как X, так и Y происходят в нашей вселенной, но в большинстве вариантов нашей вселенной, в которых X не происходит, Y также не происходит.

Если бы мультиверс буквально был коллекцией пространств-времен, квантовая концепция времени ничем не отличалась бы от классической. Как показано на рис. 11.6, время по-прежнему было бы последовательностью моментов. Единственная разница заключалась бы в том, что в конкретный момент в мультиверсе вместо одной вселенной существовало бы множество. Физическая реальность в определенный момент была бы в действительности «суперснимком», состоящим из снимков многих различных вариантов всего пространства. Вся реальность на протяжении всего времени была бы пачкой всех суперснимков, так же как классически она была пачкой снимков пространства. Из-за квантовой интерференции каждый снимок уже не определялся бы полностью предыдущими снимками того же самого пространства-времени (хотя приблизительно определялся бы, потому что классическая физика часто является хорошим приближением квантовой физики). Однако суперснимки, начиная с определенного момента, полностью и точно определялись бы предыдущими суперсним-

ками. Этот полный детерминизм не породил бы абсолютную предсказуемость, даже в принципе, потому что для предсказания необходимо знание того, что произошло во всех вселенных, а каждая наша копия может напрямую воспринимать только одну вселенную. Тем не менее, что касается концепции времени, картина почти ничем не отличалась бы от пространства-времени с последовательностью моментов, связанных детерминистическими законами, только в каждый момент происходило бы больше событий, но большинство их было бы скрыто от любой отдельной копии любого наблюдателя.

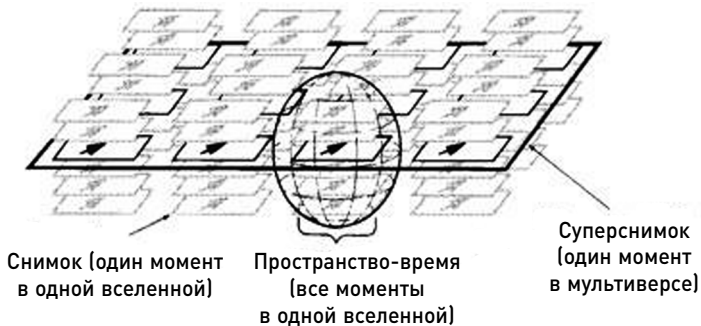


Рис. 11.6. Если бы мультиверс был коллекцией взаимодействующих пространств-времен, то время по-прежнему было бы последовательностью моментов.

Однако мультиверс устроен не совсем так. Работоспособная квантовая теория времени — которая также была бы квантовой теорией гравитации — является заветной, но так и не достигнутой целью теоретической физики в течение уже нескольких десятилетий. Но мы достаточно знаем о ней, чтобы понимать, что несмотря на совершенно детерминистический характер законов квантовой физики на уровне мультиверса эти законы не разделяют мультиверс в духе рис. 11.6 на отдельные пространства-времена или на суперснимки, каждый из которых полностью определяет все остальные. Таким образом, мы знаем, что классическая концепция времени как последовательности моментов не может быть истинной, хотя она и обеспечивает хорошее приближение

во многих обстоятельствах — то есть во многих областях мультиверса.

Чтобы пролить свет на квантовую концепцию времени, представим, что мы разрежали мультиверс на кучу отдельных снимков точно так же, как мы делали это с пространством-временем. С помощью чего мы можем снова склеить их? Как и раньше, законы физики и присущие снимкам физические свойства являются единственно приемлемым клеем. Если бы время в мультиверсе было последовательностью моментов, должна была бы существовать возможность распознавания всех снимков пространства в данный момент, словно мы собираем их в суперснимок. Не удивляет, что, оказывается, не существует способа сделать это. В мультиверсе снимки не имеют «временных меток». Не существует и понятия о том, какой снимок из другой вселенной происходит «в тот же самый момент», как и определенный снимок в нашей вселенной, поскольку это опять неявно выражало бы, что вне мультиверса существует всеобъемлющая конструкция времени, относительно которой происходят все события в мультиверсе. Но такой конструкции не существует.

Следовательно, не существует фундаментального разграничения между снимками других времен и снимками других вселенных. В этом и заключается особый смысл квантовой концепции времени:

*Другие времена — это всего лишь специальные случаи
других вселенных.*

Это понимание впервые появилось из ранних исследований в области квантовой гравитации в 1960-х годах, в частности, из работы Брайса ДеВитта¹, но, насколько мне известно, в общем случае было сформулировано только в 1983 году Доном Пейджем² и Вильямом

¹ Брайс Селигман ДеВитт (1923–2004) — американский физик-теоретик, работавший в области квантовой гравитации и теории поля. — *Прим. ред.*

² Дон Пейдж — канадский физик-теоретик, работающий в области квантовой космологии и гравитационной физики. — *Прим. ред.*

Вутерсом¹. Снимки, которые мы называем «другими временами в нашей вселенной», отличаются от «других вселенных» только с нашей точки зрения, и только в этом законы физики особенно тесно связывают их с нами. Поэтому они являются теми, о чем существовании в нашем собственном снимке содержится больше всего данных. По этой причине мы и обнаружили их за тысячи лет до того, как открыли оставшуюся часть мультиверса, которая, напротив, очень слабо посягает на нас через эффекты интерференции. Для того чтобы говорить об этих снимках, мы создали специальные языковые конструкции (прошлые и будущие формы глаголов). Мы также придумали другие конструкции (такие как высказывания «если... то...», условные и сослагательные формы глаголов), чтобы говорить о других типах снимков, даже не зная об их существовании. Традиционно мы относили эти два типа снимков — другие времена и другие вселенные — к абсолютно различным концептуальным категориям. Теперь мы видим, что это различие необязательно.

Давайте продолжим нашу умозрительную реконструкцию мультиверса. Сейчас в нашей куче гораздо больше снимков, но давайте снова начнем с отдельного снимка одной вселенной в один момент. Если мы сейчас поищем в куче другие снимки, очень похожие на исходный, мы обнаружим, что эта куча весьма отличается от разобранного пространства-времени. Во-первых, мы находим много снимков, которые абсолютно идентичны исходному. В действительности любой снимок, который вообще присутствует, присутствует в бесконечном множестве копий. Таким образом, не имеет смысла спрашивать, сколько снимков обладают таким-то свойством, но только *какая доля* бесконечного количества снимков обладает этим свойством. Ради краткости, говоря об определенном «количестве» вселенных, я буду всегда подразумевать определенную часть от их общего количества в мультиверсе.

Если, помимо *вариантов* меня в других вселенных, существуют также и многочисленные идентичные *копии* меня, которая из них — я?

¹ Вильям Кент Вутерс (William Kent Wootters) — американский физик-теоретик, один из создателей квантовой теории информации. — *Прим. ред.*

Безусловно, я — это все они. Каждая из них только что задала этот вопрос — «которая из них — я?», — и любой истинный способ ответа на этот вопрос должен дать каждой из них один и тот же ответ. Считать, что имеет физический смысл вопрос, какой из идентичных копий являюсь я, — значит принять, что вне мультиверса существует некая система отсчета, относительно которой можно дать ответ: «Я — третья слева...» Но какое при этом может быть «лево», и что значит «третья»? Подобная терминология имеет смысл, только если представить, что снимки меня выстроены в различных положениях в некотором внешнем пространстве. Но мультиверс существует во внешнем пространстве не в большей степени, чем он существует во внешнем времени: он содержит все существующее пространство и время! Он просто существует, и физически он является всем, что существует.

Квантовая теория в общем случае не определяет, что произойдет на конкретном снимке, как это делает физика пространства-времени. Вместо этого она определяет, какая доля всех снимков в мультиверсе будет обладать заданным свойством. По этой причине мы, жители мультиверса, иногда можем делать только вероятностные предсказания относительно нашего собственного существования, несмотря даже на то, что то, что произойдет в мультиверсе, полностью определено. Предположим, например, что мы подбросили монетку. Типичное предсказание квантовой теории будет примерно таким: *если* на определенном количестве снимков монетка зафиксирована вращающейся определенным образом, а часы дают определенные показания, *то* также существует половина этого количества вселенных, в которых часы имеют большие показания, а монетка лежит орлом вверх, и вторая половина, в которой часы также имеют большие показания, а монетка лежит решкой вверх.

Рисунок 11.7 показывает небольшую область мультиверса, в которой происходят эти события. Даже в этой небольшой области необходимо показать много снимков, поэтому мы можем выделить на каждый снимок только одну точку диаграммы. Все снимки, на которые мы смотрим, содержат часы некоторого стандартного типа, а диаграмма организована так, что все снимки с конкретными показаниями часов появляются в виде вертикального столбца, а по-

казания часов увеличиваются слева направо. Когда мы ведем взгляд вдоль любой вертикальной линии на диаграмме, не все снимки, которые мы проходим, различны. Мы проходим через группы идентичных снимков, показанных заливкой. Снимки с самыми ранними показаниями часов расположены на левом краю диаграммы. Мы видим, что на всех этих снимках, которые являются идентичными, монетка вращается. На правом краю диаграммы мы видим, что на половине снимков с самыми поздними показаниями часов монетка упала орлом вверх, а на другой половине — решкой вверх. Во вселенных с промежуточными показаниями часов присутствуют вселенные трех типов в соотношении, которое изменяется в зависимости от показаний часов.

Если бы вы присутствовали в изображенной области мультиверса, все ваши копии сначала видели бы, что монетка вращается. Затем половина ваших копий увидела бы, что монетка упала орлом, а другая половина увидела бы, что она упала решкой. На некотором промежуточном этапе вы увидели бы монетку еще в движении, из которого уже можно было бы предсказать, какой стороной она упадет. Это разделение идентичных копий наблюдателя на немного отличные версии ответственно за субъективно вероятностный характер квантовых предсказаний. Дело в том, что, если бы вы спросили в самом начале, какой результат подбрасывания монетки вам предстоит увидеть, ответ был бы, что это строго непредсказуемо, поскольку половина ваших копий, задающих этот вопрос, увидит орла, а вторая половина — решку. При этом невозможно спросить, «какая половина» увидит орла, — смысла в этом не больше, чем в ответе на вопрос «какой из них я?». В практических целях вы можете считать это вероятностным предсказанием того, что в 50% случаев монета упадет орлом, а в оставшихся 50% случаев — решкой.

Детерминизм квантовой теории, подобно детерминизму классической физики, действует как вперед, так и назад во времени. Из состояния объединенного набора снимков орлов и решек при более поздних показаниях часов на рис. 11.7 полностью определяется состояние «вращения» при более ранних показаниях часов, и наоборот. Тем не менее, с точки зрения любого наблюдателя, в процессе

подбрасывания монетки теряется информация. Тогда как начальное состояния «вращения» монетки мог видеть наблюдатель, конечное объединенное состояние орлов и решек не соответствует любому возможному опыту наблюдателя. Следовательно, наблюдатель в более раннее время может наблюдать за монеткой и предсказать ее будущее состояние, а также последующие субъективные вероятности. Но ни одна из более поздних копий наблюдателя не может наблюдать информацию, необходимую для восстановления состояния «вращения», поскольку эта информация уже распределена между двумя типами вселенных, что делает невозможным восстановление, исходя из конечного состояния монетки. Например, если мы знаем только то, что монетка лежит орлом кверху, за несколько секунд до этого могло наблюдаться состояние, которое я назвал «вращением», или монетка могла вращаться в противоположном направлении, или все время лежать орлом. В данном случае не существует возможности восстановления предыдущего состояния, даже вероятностного восстановления. Более раннее состояние монетки просто не определяется более поздним состоянием снимков орла, но только совместным состоянием снимков орла и решки.

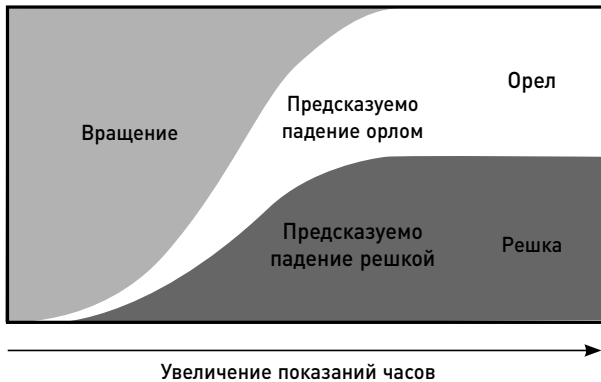


Рис. 11.7. Область мультиверса, содержащая вращающуюся монетку. Каждая точка диаграммы представляет один снимок.

Любая горизонтальная линия, проведенная по рис. 11.7, проходит через последовательность снимков с увеличивающимися

показаниями часов. Может возникнуть соблазн думать о такой линии — как та, что показана на рис. 11.8, — как о пространстве-времени, а о всей диаграмме — как о пачке пространств-времен, по одному на каждую подобную линию. Из рис. 11.8 мы можем вывести, что происходит в «пространстве-времени», определенном горизонтальной линией. В течение какого-то периода времени оно содержит вращающуюся монетку. Затем, в течение следующего периода, оно содержит монетку, которая движется так, что можно предсказать, что она упадет орлом. Однако позднее, вопреки сказанному, оно содержит монетку, которая движется так, что можно предсказать, что она упадет решкой, и в конце концов она действительно падает решкой. Однако это всего лишь недостаток диаграммы, как я уже указал в главе 9 (см. рис. 9.4). В этом случае законы квантовой механики предсказывают, что ни один наблюдатель, который помнит, что видел монетку в состоянии «предсказуемого появления орла», не может увидеть ее в состоянии решки: собственно, это и оправдывает то, что мы называем это состояние «предсказуемым появлением орла». Следовательно, ни один наблюдатель в мультиверсе не опознал бы события в таком виде, в каком они происходят в «пространстве-времени», определенном линией. Все это подтверждает, что мы не можем склеить снимки произвольно, мы можем склеить их только так, чтобы отразить отношения между ними, определяемые законами физики. Снимки, расположенные вдоль линии на рис. 11.8, недостаточно взаимосвязаны, чтобы оправдать их объединение в одну вселенную. Да, они появляются в порядке увеличения показаний часов, которые в *пространстве-времени* были бы «временной меткой», достаточной для повторной сборки пространства-времени. Но в мультиверсе слишком много снимков, чтобы только показания часов могли разместить один снимок относительно других. Чтобы сделать это, нам необходимо вникнуть в сложные подробности того, какие снимки определяют какие.

В физике пространства-времени любой снимок определяется любым другим. Как я уже сказал, в мультиверсе, в общем случае, это не так. Обычно состояние одной группы идентичных снимков (например, тех, в которых монетка «вращается») определяет состояние

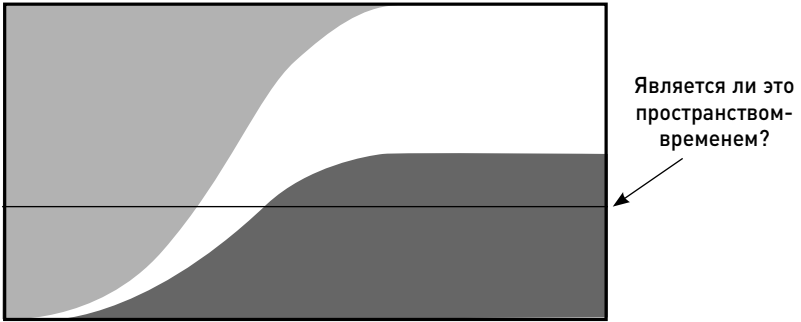


Рис. 11.8. Последовательность снимков с увеличением времени не обязательно является пространством-временем.

равного количества различных снимков (таких как снимки орла и решки). Из-за свойства обратимости времени, присущего законам квантовой физики, общее, многозначное состояние последней группы также определяет состояние первой. Однако в некоторых областях мультиверса и в некоторых местах в пространстве снимки некоторых физических объектов на некоторое время складываются в цепочки, каждое звено которых определяет все остальные в хорошем приближении. Стандартным примером могла бы стать последовательность снимков Солнечной системы. В таких областях законы классической физики являются хорошим приближением квантовых законов. В таких областях и местах мультиверс действительно выглядит как на рис. 11.6, в виде набора пространств-времен, и на таком уровне приближения квантовая концепция времени сводится к классической. В них можно выявить приблизительно разницу между «различными временами» и «различными вселенными», а время — это приблизительно последовательность моментов. Но это приближение никогда не выдерживает более детального исследования снимков, взгляда далеко вперед или далеко назад во времени, или взгляда далеко в мультиверс.

Все экспериментальные результаты, которыми мы располагаем в настоящее время, совместимы с тем приближением, что время — это последовательность моментов. Мы не ожидаем, что это приближение не выдержит какого-нибудь предвидимого земного экс-

перимента, однако теория говорит нам, что оно должно сильно пострадать в определенных видах физических процессов. Первый — это начало вселенной, Большой взрыв. В соответствии с классической физикой время началось в тот момент, когда пространство было бесконечно плотным и занимало только одну точку, а до этого моментов не было. В соответствии с квантовой физикой (насколько нам известно) снимки, очень близкие к Большому взрыву, не расположены в каком-либо определенном порядке. Свойство времени как последовательности начинается не при Большом взрыве, а несколько позднее. В природе вещей не имеет смысла спрашивать, насколько позднее. Но мы можем сказать, что самые ранние моменты, которые, в хорошем приближении, являются последовательными, имели место, грубо говоря, тогда, когда, если взять экстраполяцию классической физики, Большой взрыва произошел на 10^{-43} секунды (*планковское время*) раньше.

Второй и очень похожий вид разрушения последовательности времени, видимо, произойдет внутри черных дыр и при конечном реколлапсе вселенной (Большом сжатии), если таковое случится. В обоих случаях материя сожмется до бесконечной плотности в соответствии с классической физикой, как при Большом взрыве, и результирующие гравитационные силы разорвут ткань пространства-времени.

Кстати, если вам когда-либо было интересно, что происходило до Большого взрыва или что произойдет после Большого сжатия, сейчас вы можете перестать об этом думать. Почему сложно принять, что до Большого взрыва не было, а после Большого сжатия не будет моментов, так что там ничего не происходит или не существует? Потому что трудно представить, что время останавливается или запускается. Но ведь время не должно останавливаться или запускаться, поскольку оно не движется вообще. Мультиверс не «начинает существовать» или «не прекращает существовать»: эти термины предполагают поток времени. Только представление о потоке времени заставляет нас интересоваться, что было «до» или что будет «после» всей реальности.

Считается, что в субмикроскопическом масштабе квантовые эффекты снова деформируют и разрывают структуру пространства-

времени, и что на этом масштабе существуют замкнутые циклы времени — в сущности, крохотные машины времени. Как мы увидим в следующей главе, разрыв последовательности времени такого рода также физически возможен в большом масштабе, и вопрос о том, не происходит ли он вблизи таких объектов, как вращающиеся черные дыры, остается открытым.

Таким образом, хотя мы и не можем еще обнаружить ни один из этих эффектов, наши лучшие теории уже говорят нам, что физика пространства-времени ни в коем случае не является точным описанием реальности. Каким бы хорошим ни было приближение, в реальности время должно быть фундаментально отличным от линейной последовательности, предлагаемой здравым смыслом. Тем не менее все в мультиверсе определяется почти так же жестко, как и в классическом пространстве-времени. Уберите один снимок, и оставшиеся точно определяют его. Уберите *большую часть* снимков, и оставшееся меньшинство по-прежнему может определить все, что убрано, так же как оно делает это в пространстве-времени. Разница заключается только в том, что, в отличие от пространства-времени, мультиверс не состоит из взаимно определяющих слоев, которые я назвал суперснимками и которые можно было бы считать «моментами» мультиверса. Это сложная многомерная мозаика.

В этой мозаичной вселенной, которая не состоит из последовательности моментов и не разрешает потока времени, обыденная концепция причины и следствия имеет совершенный смысл. Проблема причинно-следственного отношения, обнаруженная нами в пространстве-времени, заключалась в том, что это отношение является свойством не только самих причин и следствий, но и их *вариантов*. Поскольку эти варианты существовали только в нашем воображении, а не в пространстве-времени, мы столкнулись с физической бессмысленностью делать существенные выводы из воображаемых свойств несуществующих («контрфактуальных») физических процессов. Однако в мультиверсе варианты действительно существуют в различных соотношениях, и они подчиняются определенным детерминистическим законам. Если известны эти законы, объективным фактом является то, какие события имеют значение для того, чтобы произошли какие-то другие события. До-

пустим, что существует группа снимков, не обязательно идентичных, но обладающих свойством X . Допустим, что при условии существования этой группы законы физики определяют, что существует другая группа снимков со свойством Y . Таким образом, удовлетворяется одно из условий того, чтобы X стал причиной Y . Другое условие должно быть связано с вариантами. Рассмотрим варианты первой группы, не имеющие свойства X . Если, исходя из существования этих вариантов, все равно можно определить существование некоторых снимков со свойством Y , то X не является причиной Y , поскольку Y происходит даже при отсутствии X . Но если, исходя из группы вариантов не- X , определяется только существование вариантов не- Y , тогда X является причиной Y .

В этом определении причины и следствия нет ничего, что логически требует предшествования причины следствиям, и возможно, в очень экзотических ситуациях, например, очень близких к Большому взрыву или внутри черных дыр, этого предшествования не существует. Однако в повседневном опыте причины всегда предшествуют своим следствиям, и так происходит потому, что — по крайней мере, вблизи от нас в мультиверсе — количество различных видов снимков имеет тенденцию быстро расти со временем и вряд ли когда-либо уменьшается. Это свойство связано со вторым законом термодинамики, который гласит, что упорядоченную энергию, например, химическую или энергию гравитационного потенциала, можно полностью преобразовать в беспорядочную энергию, например, тепло, но не наоборот. Тепло — это беспорядочное движение на микроскопическом уровне. На языке мультиверса это означает множество состояний движения, различных на микроскопическом уровне в различных вселенных. Например, на последовательных снимках монеты при обычном увеличении кажется, что процесс остановки монеты преобразует группу идентичных снимков «предсказуемого появления орла» в группу идентичных снимков орла. Но во время этого процесса энергия движения монеты превращается в тепло, так что при достаточно большом увеличении, таком, что можно увидеть отдельные молекулы, снимки в последней группе вовсе не будут идентичными. Они все покажут, что монета лежит орлом, но ее молекулы, а также молекулы окру-

жающего воздуха и поверхности, на которой лежит монета, они показывают во множестве различных конфигураций. Вероятно, изначальные снимки «предсказуемого появления орла» на микроскопическом уровне тоже не являются идентичными, потому что на них тоже присутствует некоторое количество тепла, но производство тепла в самом процессе означает, что эти снимки гораздо меньше отличаются друг от друга, чем последующие. Таким образом, каждая однородная группа снимков с «предсказуемым появлением орла» определяет существование — а следовательно, становится причиной — огромного количества снимков орла, отличающихся на микроскопическом уровне. Но ни один «снимок» орла сам по себе не определяет существование каких-либо снимков «предсказуемого появления орла», а потому не является их причиной.

Преобразование относительно любого наблюдателя возможностей в действительность — открытого будущего в неизменное прошлое — также имеет смысл в этих рамках. Снова рассмотрим пример с подбрасыванием монетки. До того, как монетку подбросят, с точки зрения наблюдателя будущее открыто в том смысле, что наблюдатель все еще может увидеть любой результат: орла или решку. С точки зрения этого наблюдателя оба результата являются возможностями, хотя объективно они оба являются действительностью. После того, как монетка упала, копии наблюдателя разделились на две группы. Каждый наблюдатель видел и помнит только один результат подбрасывания монетки. Таким образом, результат, как только он попал в прошлое любого наблюдателя, стал однозначным и действительным для каждой копии наблюдателя, даже не смотря на то что с перспективы мультиверса он остался таким же двузначным, каким был всегда.

Позвольте мне подвести итог квантовой концепции времени. Время — это не последовательность моментов, и оно не течет. Тем не менее наша интуиция относительно свойств времени в общем смысле истинна. Определенные события действительно являются причинами и следствиями друг друга. По отношению к наблюдателю будущее действительно открыто, прошлое неизменно, а возможности на самом деле становятся действительностью. Причина бессмысленности наших традиционных теорий времени

в том, что они пытаются выразить эту истинную интуицию на основе ложной классической физики. В квантовой физике эта интуиция имеет смысл, потому что время всегда было квантовой концепцией. Мы существуем во множестве вариантов, во вселенных, называемых «моментами». Каждый вариант нас не осознает другие напрямую, но обладает свидетельством их существования потому, что законы физики связывают содержимое различных вселенных. Существует соблазн допустить, что осознаваемый нами момент — единственный реальный момент или, по крайней мере, немного более реальный, чем остальные. Но это всего лишь солипсизм. Все моменты физически реальны. Весь мультиверс физически реален. Ничто больше не реально.

Терминология

Течение времени — предполагаемое движение настоящего момента в направлении будущего, или предполагаемое движение нашего сознания от одного момента к другому. (Это чепуха!)

Пространство-время — пространство и время, рассмотренные вместе как статическая четырехмерная сущность.

Физика пространства-времени — теории, подобные теории относительности, в которых реальность рассматривают как пространство-время. Поскольку реальность — это мультиверс, такие теории в лучшем случае могут быть приближениями.

Свободная воля — способность повлиять на будущие события любым из нескольких возможных способов и выбрать то, что произойдет.

Контрфактуальное высказывание — условное высказывание с ложной посылкой (например, «если бы Фарадей умер в 1830 году, то произошел бы X»).

Снимок (только в этой главе) — вселенная в определенное время.

Резюме

Время не течет. Другие времена — это всего лишь специальные случаи других вселенных.

Путешествие во времени может быть возможным, а может и не быть. Но мы уже обладаем достаточно хорошим теоретическим пониманием того, на что оно было бы похоже, будь оно возможно, пониманием, которое включает все четыре основные нити.

Путешествие во времени

Если существует идея о том, что время некоторым образом подобно дополнительному четвертому измерению пространства, то естественна и мысль о том, что если можно путешествовать из одного места в другое, то, может быть, можно путешествовать и из одного времени в другое. В предыдущей главе мы видели, что идея о «движении» сквозь время в том смысле, в котором мы передвигаемся через пространство, не имеет смысла. Тем не менее кажется ясным, что можно понимать под путешествием в XXV век или в эпоху динозавров. В научной фантастике машины времени обычно представляют как экзотические устройства передвижения. Путешественник устанавливает дату и время выбранного им места назначения, ждет до тех пор, пока аппарат не переместится в эту дату и время (иногда точно так же можно выбрать и место), и вот он там. Если человек выбрал отдаленное будущее, он общается с обладающими сознанием роботами и восхищается межзвездными космическими кораблями или (в зависимости от политических убеждений автора) бродит среди обуглившихся радиоактивных руин. Если человек выбрал отдаленное прошлое, он отражает нападение тираннозавра, а над ним парят птеродактили.

Присутствие динозавров было бы впечатляющим свидетельством того, что мы действительно достигли более ранней эры. Мы могли бы перепроверить это впечатление и более точно определить дату, глядя на какой-нибудь естественный долгосрочный «календарь», такой, как формы созвездий в ночном небе или относительное соотношение различных радиоактивных элементов

в горных породах. Физика дает нам множество календарей такого рода, а законы физики обеспечивают их согласование друг с другом при надлежащей калибровке. Если принять в качестве упрощенной картины, что мультиверс состоит из набора параллельных пространств-времен, каждое из которых состоит из пачки «снимков» пространства, то определенная таким образом дата — это свойство всего снимка, и любые два снимка отделены друг от друга временным интервалом, который является разностью их дат. Путешествие во времени — это любой процесс, вызывающий несоответствие между интервалом, разделяющим два снимка, с одной стороны, и нашим собственным ощущением того, сколько времени прошло между нашим пребыванием на этих двух снимках, с другой стороны. Мы могли бы сослаться на часы, которые носим с собой, или оценить, сколь многим размышлениям мы могли бы предаваться, или могли бы измерить посредством физиологических критериев, насколько состарились наши тела. Если мы видим, что внешне прошло много времени, а по всем субъективным оценкам мы ощутили гораздо меньшее время, значит, мы переместились в будущее. Если, с другой стороны, мы видим, что внешние часы и календари показывают определенное время, а позднее (субъективно) мы видим, что все они единогласно показывают более раннее время, значит, мы переместились в прошлое.

Большинство авторов, работающих в жанре научной фантастики, осознает, что путешествия во времени, направленные в прошлое и в будущее, радикально отличаются друг от друга.

Здесь я не стану уделять много внимания путешествию в будущее, потому что это безусловно менее проблематичное дело. Даже в повседневной жизни, например, когда мы спим и просыпаемся, субъективно ощущаемое нами время может быть короче внешнего времени, которое прошло на самом деле. Про людей, которые выходят из комы, длившейся несколько лет, можно было бы сказать, что они переместились на столько же лет в будущее, если бы не тот факт, что их тела постарели в соответствии с внешним временем, а не с тем временем, которое они ощутили субъективно. Таким образом, в принципе технику, подобную той, о которой мы говорили в главе 5 с целью замедления работы мозга пользователя виртуаль-

ной реальности, можно было бы применить ко всему телу и использовать для полноценного перемещения в будущее.

Столь серьезного вмешательства в организм не требует метод, который предоставляет специальная теория относительности Эйнштейна. Она гласит, что, в общем, наблюдатель, который ускоряется или замедляется, ощущает меньшее время, чем наблюдатель, который находится в состоянии покоя или движется равномерно. Например, астронавт, который отправился в полет, предусматривающий ускорение до скоростей, близких к скорости света, и затем вернулся из него, ощутил бы гораздо меньшее время, чем наблюдатель, оставшийся на Земле. Этот эффект известен как *растяжение времени*. Имея достаточное ускорение, можно сделать длительность полета с точки зрения астронавта сколь угодно короткой, а длительность этого же полета, измеряемую на Земле, сколь угодно длинной. Таким образом, за данное субъективно короткое время человек может переместиться так далеко в будущее, как он того пожелает. Однако такое путешествие в будущее необратимо. Обратный путь потребовал бы движения в прошлое, а никакая степень растяжения времени не может позволить космическому кораблю вернуться из полета прежде, чем он стартовал.

У виртуальной реальности и путешествия во времени есть по крайней мере одна общая черта: и первая, и второе систематически изменяют обычное отношение между внешней реальностью и восприятием ее пользователем. Таким образом, можно было бы задать следующий вопрос: если универсальный генератор виртуальной реальности можно было так легко запрограммировать на путешествие в будущее, можно ли использовать его для путешествия в прошлое? Например, если, замедлив себя, мы могли бы отправиться в будущее, могли бы мы отправиться в прошлое, ускорив себя? Нет, нам просто показалось бы, что внешний мир замедлился. Даже при том недостижимом пределе, когда мозг работает бесконечно быстро, нам казалось бы, что внешний мир застыл в конкретный момент. Тем не менее, по вышеприведенному определению, это было бы путешествием во времени, но не в прошлое. Это можно было бы назвать «путешествием в настоящее». Помню, когда я в последнюю минуту готовился к экзаменам, я мечтал о машине,

способной переносить в настоящее, — а какой студент не мечтал об этом?

Прежде чем перейти к обсуждению путешествия в прошлое, как насчет *имитации* путешествия в прошлое? До какой степени можно запрограммировать генератор виртуальной реальности, чтобы дать пользователю ощущение путешествия в прошлое? Мы увидим, что ответ на этот вопрос, как и на все вопросы относительно виртуальной реальности, говорит нам кое-что и о физической реальности.

Характерные аспекты ощущения среды прошлого, по определению, суть восприятие определенных физических объектов или процессов — «часов» и «календарей» — в состояниях, которые имели место только в прошлом (на прошлых «снимках»). Безусловно, генератор виртуальной реальности мог бы воспроизвести эти объекты в желаемых состояниях. Например, он мог бы дать человеку ощущение того, что последний живет в век динозавров или находится в окопах Первой мировой войны, а также он мог бы сделать так, чтобы созвездия, даты в газетах и все что угодно выглядели бы корректно для этого времени. Но насколько корректно? Существует ли фундаментальный предел точности воспроизведения любой данной эпохи? Принцип Тьюринга гласит, что универсальный генератор виртуальной реальности можно построить и запрограммировать для воспроизведения любой физически возможной среды, поэтому ясно, что его можно было бы запрограммировать для воспроизведения среды, которая некогда действительно физически существовала.

Чтобы имитировать машину времени, имевшую определенный репертуар мест назначения в прошлом (а следовательно, и воспроизвести сами места назначения), программе пришлось бы включить исторические записи сред в этих местах назначения. В действительности ей понадобилось бы больше, чем просто записи, потому что впечатление путешествия во времени включает больше, чем просто картины прошлых событий, разворачивающихся вокруг пользователя. «Проигрывание» записей прошлого для пользователя было бы просто формированием образов, а не виртуальной реальностью. Поскольку настоящий путешественник во времени уча-

ствует в событиях и сам воздействует на среду прошлого, точное виртуальное воспроизведение машины времени, как и любой другой среды, должно быть интерактивным. Программе придется вычислить для каждого действия пользователя реакцию исторической среды на это действие. Например, чтобы убедить д-ра Джонсона, что данная машина времени действительно перенесла его в Древний Рим, мы должны позволить ему не только незаметно и пассивно наблюдать, как прогуливается Юлий Цезарь. Он захочет проверить подлинность своих ощущений, попинав местные камни. Он может ударить Цезаря — или, по крайней мере, обратиться к нему на латыни и ожидать, что тот ответит ему так же. Чтобы виртуальное воспроизведение машины времени было точным, это воспроизведение должно реагировать на подобные интерактивные проверки так же, как реальная машина времени и как реальные среды прошлого, в которые совершается путешествие. В данном случае сюда должно входить воспроизведение Юлия Цезаря, который говорит на латыни и ведет себя должным образом.

Поскольку Юлий Цезарь и Древний Рим были физическими объектами, их в принципе можно воспроизвести с произвольной степенью точности. Эта задача отличается от задачи имитации центрального корта Уимблдона вместе со зрителями только уровнем. Конечно, сложность необходимых для этого программ была бы огромной. Однако еще более сложной или, может быть, даже в принципе невозможной была бы задача сбора информации, необходимой для написания программ воспроизведения конкретных людей. Но вопрос здесь заключается не в написании программ. Я не спрашиваю, можем ли мы собрать достаточный объем информации о среде прошлого (равно как и о среде настоящего или будущего), чтобы написать программу, которая воссоздавала бы именно эту среду. Я спрашиваю, включает ли *набор всех возможных программ* для генераторов виртуальной реальности программу, которая обеспечивает виртуальное воспроизведение путешествия в прошлое, и если такая программа существует, насколько точным это воспроизведение может быть? Если не существует программы, воспроизводящей путешествие во времени, то по принципу Тьюринга путешествие во времени физически невозможно (поскольку

он гласит, что все, что физически возможно, можно воспроизвести с помощью некоторой программы). И в связи с этим действительно существует проблема. Несмотря на то, что существуют программы, точно воспроизводящие среды прошлого, по-видимому, имеются фундаментальные препятствия использованию их для воссоздания путешествия во времени. Это те же самые обстоятельства, которые, как представляется, препятствуют самому путешествию во времени, а именно: так называемые «парадоксы» путешествия во времени.

Вот типичный пример такого парадокса. Я строю машину времени и использую ее, чтобы отправиться в прошлое. Там я не даю бывшему себе построить машину времени. Но если машина времени не была построена, я не смогу использовать ее, чтобы отправиться в прошлое, а следовательно, и не смогу воспрепятствовать ее созданию. Так совершаю я это путешествие или нет? Если да, то я лишаю себя машины времени и, следовательно, не совершаю путешествие. Если я не совершаю путешествие, то я позволяю себе построить машину времени и, таким образом, совершаю путешествие. Иногда это называют «парадоксом дедушки» и говорят об использовании путешествия во времени, чтобы убить своего деда, прежде чем у него появились дети. (И тогда, если у него не было детей, у него не могло быть и внуков, и тогда кто же убил его?)

Эти две формы парадокса приводят чаще всего: они требуют элемента насильственного конфликта между путешественником во времени и людьми из прошлого, так что человеку интересно, кто победит. Возможно, путешественник во времени потерпит поражение и парадокса удастся избежать. Однако насилие — это не суть данной проблемы. Если бы у меня была машина времени, я мог бы принять следующее решение: если сегодня меня посетит мое будущее «Я», пришедшее из завтрашнего дня, то завтра я *не буду использовать* свою машину времени; а если сегодня у меня не будет такого гостя, то завтра я *воспользуюсь* машиной времени, чтобы вернуться в сегодня и навестить себя. Кажется, что из этого решения следует, что если я воспользуюсь машиной времени, то я не воспользуюсь ей, а если я не воспользуюсь ей, то я воспользуюсь ей: налицо противоречие.

Противоречие указывает на ошибочное допущение, поэтому такие парадоксы традиционно считали доказательствами невозможности путешествия во времени. Другое, иногда оспариваемое, допущение касается свободной воли — имеют ли путешественники во времени обычную свободу выбора своих действий. При этом делают вывод, что если бы машины времени действительно существовали, то воля людей стала бы менее свободной. Они каким-то образом утратили бы способность формировать описанные мной намерения; или же, путешествуя во времени, они бы каким-то образом систематически забывали о решениях, принятых ими перед отправлением. Но оказывается, что ошибочное допущение, стоящее за этими парадоксами, — это не существование машины времени и не способность людей выбирать свое поведение обычным образом. Виновата классическая теория времени, которая, как я уже показал, несостоятельна по вполне независимым причинам.

Если бы путешествие во времени было логически невозможно, воспроизведение его в виртуальной реальности тоже было бы невозможно. Если бы оно требовало приостановки свободной воли, то этого же требовало бы и воспроизведение в виртуальной реальности. Парадоксы путешествия во времени на языке виртуальной реальности можно выразить следующим образом: точность воспроизведения в виртуальной реальности — это верность (насколько она ощутима) воссозданной среды по отношению к той, которую предполагалось симитировать. В случае с путешествием во времени среда, которую предполагается воспроизвести, — это среда, существовавшая исторически. Но как только воссозданная среда дает ответную реакцию на воздействие пользователя, что она и должна делать, она тем самым становится исторически неточной. Ведь реальная среда никогда не реагировала на этого пользователя, так как и он никогда на нее не воздействовал. Например, реальный Юлий Цезарь никогда не встречал д-ра Джонсона. Следовательно, д-р Джонсон самой проверкой достоверности воспроизведения через беседу с Цезарем разрушит достоверность, создав исторически неточного Цезаря. Воспроизведенная среда может либо *вести* себя точно, будучи достоверным изображением истории, либо *реагировать* точно, но не то и другое одновременно. Таким образом, может

показаться, что воспроизведение путешествия во времени в виртуальной реальности по той или иной причине внутренне не способно быть точным — а это просто другой способ сказать, что путешествие во времени невозможно воспроизвести в виртуальной реальности.

Но действительно ли этот эффект является препятствием для точного воспроизведения путешествия во времени? Как правило, имитация действительного поведения среды не является целью виртуальной реальности: значение имеет точная реакция этой среды. Как только вы начнете играть в теннис на воспроизведенном центральном корте Уимблдона, вы заставите его вести себя отлично от поведения реального корта. Но это ничуть не уменьшает точность воспроизведения. Напротив, именно это необходимо для его точности. Точность в виртуальной реальности означает близость поведения воссозданной среды к тому, которое исходная среда *проявила бы*, окажись в ней пользователь. Только в начале воспроизведения состояние имитируемой среды должно быть достоверным по отношению к оригиналу. После этого достоверным должно быть не состояние среды, а ее реакция на действия пользователя. Почему же это считается «парадоксальным» для воспроизведения путешествия во времени, но не для всех других имитаций — например, для воссоздания обычного путешествия?

Это кажется парадоксальным, потому что при воспроизведении путешествия в прошлое пользователь играет уникальную двуликую или многоликую роль. Здесь появляются петли во времени, где, например, одна или больше копий пользователя могут сосуществовать и взаимодействовать. Поэтому от генератора виртуальной реальности по существу требуется *воспроизводить пользователя*, одновременно реагируя на его действия. Например, представим, что я — пользователь генератора виртуальной реальности, на котором запущена программа воспроизведения путешествия во времени. Допустим, что, когда я включаю эту программу, вокруг себя я вижу футуристическую лабораторию. В центре находится вращающаяся дверь, подобная тем, которые находятся на входе в большие офисные здания или торговые центры, за исключением того, что она непрозрачна и почти полностью заключена в непрозрачный

цилиндр. Единственный путь в цилиндр или из него — это вход, прорезанный в его боковой стенке. Дверь, расположенная внутри этого цилиндра, постоянно вращается. На первый взгляд кажется, что с этим устройством мало что можно сделать, кроме как войти в него, сделать в нем один или несколько кругов вместе с вращающейся дверью и снова выйти. Однако над входом висит табличка: «Путь в прошлое». Это машина времени — вымышленная, виртуальная машина времени. Однако если бы существовала реальная машина времени, способная перенести в прошлое, она, как и эта виртуальная, была бы не экзотическим устройством перемещения, а экзотическим *местом*. Вместо того чтобы ехать или лететь на ней в прошлое, человеку скорее пришлось бы проделать через нее определенный путь (возможно, используя «обычный» космический корабль) и появиться в более раннем времени.

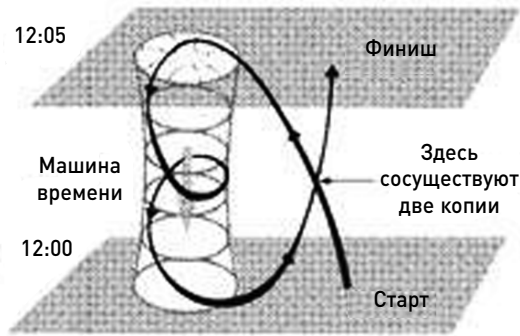


Рис. 12.1. Путь в пространстве-времени, совершаемый путешественником во времени

На стене смоделированной лаборатории висят часы, которые первоначально показывают полдень, а у входа в цилиндр написаны некоторые инструкции. К тому времени, как я закончил читать их, уже пять минут первого, как в соответствии с моим восприятием, так и по часам. Инструкции гласят, что, если я войду в цилиндр, сделаю вместе с вращающейся дверью один круг и вернусь, в лаборатории будет на пять минут раньше. Я вхожу в одно из отделений вращающейся двери. По мере того как я делаю круг, мое отделение

закрывается за мной, а потом, через несколько мгновений, снова достигает входа. Я выхожу. Лаборатория выглядит почти так же — за исключением чего? Что конкретно мне следует ожидать дальше, если это точное воспроизведение путешествия в прошлое?

Позвольте мне вернуться немного назад. Допустим, что у входа есть переключатель, два положения которого обозначены как «интерактивность *включена*» и «интерактивность *выключена*». Во втором случае пользователю не позволено участвовать в прошлом, но лишь наблюдать его. Другими словами, она обеспечивает не полное воспроизведение в виртуальной реальности среды прошлого, а только формирование образов.

В этом более простом режиме по крайней мере нет неопределенности или парадокса относительно того, какие образы должны быть сформированы, когда я выхожу из вращающейся двери. Это должны быть образы меня в лаборатории, делающего то, что я делал в полдень. Одна из причин отсутствия неопределенности состоит в том, что я помню эти события, поэтому я могу сравнить образы прошлого с моими собственными воспоминаниями о том, что произошло. Ограничивая анализ небольшой замкнутой средой за короткий промежуток времени, мы избегаем проблемы, аналогичной той, что связана с выяснением, каким на самом деле был Юлий Цезарь, — проблемы, связанной с предельными возможностями археологии, а не с сущностными проблемами путешествия во времени. В нашем случае генератор виртуальной реальности легко может получить информацию, которая ему необходима, чтобы создать требуемые образы, просто записав все мои действия. Это не запись моих действий в физической реальности (которые заключаются в том, чтобы спокойно лежать внутри генератора виртуальной реальности), а запись моих действий в виртуальной среде лаборатории. Таким образом, в момент моего выхода из машины времени генератор виртуальной реальности перестает воспроизводить лабораторию в 12:05 и начинает воспроизводить свою запись с образов того, что произошло в полдень. Он показывает эту запись мне с перспективой, настроенной на мое настоящее положение и направление моего взгляда, и постоянно уточняет перспективу обычным образом по мере моего движения. Таким образом,

я вижу, что часы снова показывают полдень. Также я вижу более раннего себя, стоящего перед машиной времени, читающего надпись над входом и изучающего инструкции точно так, как я делал это пять минут назад. Я вижу его, но он не может видеть меня. Что бы я ни делал, он — вернее было бы сказать *оно*, движущийся образ меня, — никак не реагирует на мое присутствие. Через некоторое время он идет к машине времени.

Если я случайно окажусь на пути, мой образ тем не менее направится прямо к машине времени и войдет в нее, так же, как это сделал я, поскольку если бы он сделало что-то еще, то воспроизведение уже не было бы точным. Существует множество способов запрограммировать генератор образов, чтобы он справился с ситуацией, когда образ непрерывного предмета должен пройти через местоположение пользователя. Например, изображение могло бы пройти прямо через пользователя, как привидение, или оно могло бы отодвинуть пользователя в сторону. Последний вариант дает более точное воспроизведение, потому что в этом случае образы в некоторой степени являются осязаемыми, а не только видимыми. Я не должен опасаться, что мне будет больно, когда мой образ оттолкнет меня, как бы резко он ни сделал это, потому что физически меня там, безусловно, нет. Если же не хватит места, чтобы убрать меня с дороги, генератор виртуальной реальности может без усилий выдавить меня через небольшую щель или даже телепортировать за препятствие.

Я не могу более воздействовать не только на свой собственный образ. Поскольку мы временно переключились с виртуальной реальности на формирование образов, я больше не могу воздействовать ни на что в смоделированной среде. Если на столе стоит стакан воды, я уже не могу взять его и выпить, как я мог сделать до того, как прошел через вращающуюся дверь в смоделированное прошлое. Запросив режим неинтерактивного путешествия в прошлое, которое по сути является воспроизведением конкретных событий, происходивших пять минут назад, я неизбежно теряю контроль над своей средой. Я передаю контроль, как это и произошло, бывшему себе.

Когда мой образ входит во вращающуюся дверь, часы снова показывают 12:05, хотя в соответствии с моим субъективным воспри-

ятием от начала моделирования уже прошло 10 минут. Что произойдет дальше, зависит от того, что я сделаю. Если я просто останусь в лаборатории, то следующей задачей генератора виртуальной реальности должна стать задача перемещения меня к событиям, которые происходят после 12:05 по времени в лаборатории. Но ни генератор еще не обладает записью этих событий, ни у меня нет никаких воспоминаний о них. Относительно меня, относительно смоделированной лаборатории и относительно физической реальности эти события еще не произошли, поэтому генератор виртуальной реальности может возобновить свою полностью интерактивную работу. Общий результат состоит в том, что я провел в прошлом пять минут, не имея возможности воздействовать на него, а затем вернулся в «настоящее», которое я оставил, то есть к нормальной последовательности событий, на которые я могу повлиять.

Существует другая альтернатива: я могу последовать за своим образом в машину времени, вместе с ним совершить в ней круг и снова появиться в прошлом лаборатории. Что произойдет в этом случае? Часы снова показывают полдень, и теперь я вижу *два* образа прежнего себя. Один из них видит машину времени впервые и не замечает ни меня, ни второй образ. Второй образ, кажется, видит первый, но не видит меня. Я вижу оба образа, но только первый из них способен воздействовать на что-либо в лаборатории. На этот раз с точки зрения генератора виртуальной реальности в момент путешествия во времени не произошло ничего особенного. Он по-прежнему находится в состоянии «интерактивность *выключена*» и просто продолжает воспроизводить образы событий, произошедших пять минут назад (с моей субъективной точки зрения), и теперь эти события уже достигли того момента, когда я начал видеть образ самого себя.

Когда пройдет еще пять минут, я снова смогу выбрать, войти ли в машину времени опять, на этот раз в компании *двух* образов меня (рис. 12.2). Если я буду повторять этот процесс, то через каждые пять субъективных минут будет появляться один дополнительный образ меня. Каждый образ как будто будет видеть все те, что появились до него (по моим ощущениям), но не будет видеть ни один из тех, которые появились после него.

Если я буду продолжать этот эксперимент так долго, как это только возможно, максимальное количество копий меня, способных сосуществовать, будет ограничено только стратегией уклонения от столкновений в генераторе образов. Допустим, что генератор делает реалистическую попытку затруднить мне задачу втиснуться во вращающуюся дверь со всеми моими образами. Тогда в конце концов я буду вынужден сделать нечто отличное от путешествия в прошлое вместе с ними. Я могу немного подождать и занять следующее за ними отделение вращающейся двери, и в этом случае я попаду в лабораторию на мгновение позднее их. Однако это всего лишь отложит проблему переполнения машины времени. Если я продолжу проходить эту петлю, в конечном итоге будут забиты все «щели» для путешествия во временной период 12:05, и это вынудит меня прибыть в более позднее время, откуда уже не будет дальнейшей возможности возвращения в тот промежуток времени. Этим свойством машины времени тоже обладали бы, если бы существовали. Они не только являются местами, они являются местами с конечной вместимостью для обеспечения перемещения в прошлое.

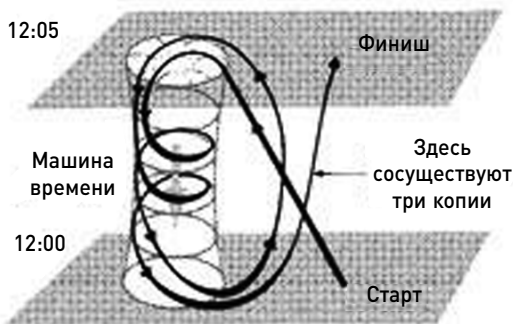


Рис. 12.2. Повторное использование машины времени позволяет сосуществовать многочисленным копиям путешественника во времени

Другим следствием того факта, что машины времени — это не устройства перемещения, а скорее места или пути, является то, что человек не абсолютно свободен выбирать, в какое время путешествовать с их помощью. Как показывает наш пример, такую ма-

шину можно использовать только для путешествия в то время и место, где она уже существует. В частности, невозможно использовать ее для путешествия в то время, когда ее строительство еще не было закончено.

Сейчас наш генератор виртуальной реальности содержит записи множества различных версий того, что произошло в этой лаборатории между полуднем и 12:05. Которая из этих версий описывает реальную историю? Нас не должно слишком волновать, существует ли ответ на этот вопрос, поскольку фактически спрашивается, что является реальным в ситуации, где мы искусственно подавили интерактивность, сделав неприменимым тест д-ра Джонсона. Можно было бы утверждать, что реальна только последняя версия, та, которая описывает самое большое количество копий меня, потому что все предыдущие версии в действительности показывают историю с точки зрения людей, которые из-за искусственного правила неинтерактивности не могли полностью видеть, что происходит. Можно заявить и обратное — что единственно реальной является первая версия событий, та, где была только одна копия меня, потому что только ее одну я ощущал интерактивно. Весь смысл неинтерактивности в том, что мы временно мешаем себе изменить прошлое, а поскольку все последующие версии отличаются от первой, они не описывают прошлое. Они всего лишь описывают кого-то, кто *смотрит* на прошлое при помощи универсального генератора образов.

Наконец, можно утверждать, что все версии в равной степени реальны. Как-никак, по окончании всего этого я помню, что ощутил не просто одну историю лаборатории за пятиминутный период, а несколько таких историй. Я ощущал их последовательно, но с позиции лаборатории все они произошли за один и тот же пятиминутный промежуток времени. Полная запись моих ощущений потребует множества снимков лаборатории на каждый момент, определяемый часами, вместо одного снимка за каждый момент, как обычно. Другими словами, это будет воспроизведением параллельных вселенных! Оказывается, что эта последняя интерпретация наиболее близка к истине, как мы увидим, повторив тот же самый эксперимент, но на этот раз с включенной интерактивностью.

Первое, что я хочу сказать об интерактивном режиме, в котором я свободен воздействовать на среду, состоит в следующем. Среди того, что я могу выбрать и реализовать по своему выбору, есть точная последовательность событий, которые я только что описал для неинтерактивного режима. Иначе говоря, я могу вернуться назад и встретить одну или несколько копий себя, но тем не менее (если я достаточно хороший актер) повести себя точно так, как если бы я не мог видеть некоторые из них. Тем не менее я должен внимательно наблюдать за ними. Если я хочу воссоздать последовательность событий, произошедших при проведении мною эксперимента с выключенной интерактивностью, я должен помнить, какие копии меня ведут себя так, как я могу вести себя в последующие посещения этого времени.

В начале нового эксперимента, когда я впервые вижу машину времени, я немедленно вижу, что она выпускает одну или несколько копий меня. Почему? Потому что если интерактивность включена, то, когда я буду использовать машину времени в 12:05, я должен буду иметь право воздействовать на прошлое, в которое я возвращаюсь, а это прошлое — как раз то, что происходит сейчас, в полдень. Таким образом, будущий я или будущие я появляются, чтобы использовать свое право воздействия на лабораторию в полдень и право воздействия на меня и, в частности, право быть увиденными мной.

Итак, копии меня занимаются своими делами. Рассмотрим вычислительную задачу, которую должен выполнить генератор виртуальной реальности при воспроизведении этих копий. Теперь существует новый элемент, который делает эту задачу гораздо более сложной, чем она была в неинтерактивном режиме. Как генератор виртуальной реальности должен выяснить, что именно копии меня собираются делать? У него еще нет никаких записей этой информации, поскольку в физическом времени эксперимент только что начался. Однако генератор должен немедленно представить мне имитации будущего меня.

До тех пор, пока я выполняю свое решение притворяться, что не могу видеть эти имитации, а затем скопировать то, что делают они, они не подлежат особенно серьезной проверке на точность. Генератору виртуальной реальности нужно всего лишь за-

ставить их делать *что-нибудь* — что угодно, что мог бы сделать я; или, точнее, воспроизводить любое поведение, которое я способен скопировать. С учетом тех технологий, на которых, по нашему предположению, должен быть основан генератор виртуальной реальности, мы допускаем, что это не превысило бы его возможности. Генератор может иметь точную математическую модель моего тела и некоторую степень прямого доступа к моему мозгу. Он может использовать то и другое для вычисления некоторого поведения, которое было бы для меня возможным, а затем заставить первоначальные копии меня вести себя именно так.

Итак, в начале эксперимента я вижу, что несколько копий меня появляются из вращающейся двери и что-то делают. Я притворяюсь, что не замечаю их, и через пять минут сам делаю круг во вращающейся двери и копирую виденные мной ранее действия первой копии себя. Через пять минут я снова обхожу дверь и копирую вторую копию и т. д. Тем временем я замечаю, что одна из копий всегда повторяет то, что делал я в течение первых пяти минут. В конце последовательности путешествий во времени у генератора виртуальной реальности снова будет несколько записей того, что произошло за пять минут после полудня, но на этот раз все эти записи будут идентичны. Другими словами, имеет место только одна история, а именно: что я встретил будущего себя, но притворился, что не замечаю его. Позднее я стал этим будущим мной, переместился назад во времени, чтобы встретить прошлого себя, и, по-видимому, остался незамеченным. Все это очень неплохо, непарадоксально — но и нереально. Все получилось благодаря сложной, взаимозависимой игре, в которой участвовали генератор виртуальной реальности и я: я копировал его, а он копировал меня. Но в случае включения нормальной интерактивности я могу решить не играть по таким правилам.

Если бы у меня действительно был доступ к виртуальному путешествию во времени, я непременно захотел бы проверить подлинность его воссоздания. В обсуждаемом нами случае проверка началась бы сразу же, как только я увидел копии себя. Я бы не только не проигнорировал их, я бы немедленно вступил с ними в разговор. У меня гораздо больше возможностей проверить их подлинность,

чем их было бы у д-ра Джонсона для проверки подлинности Юлия Цезаря. Чтобы пройти хотя бы начальную проверку, воспроизведенные версии меня должны быть существами с искусственным интеллектом — более того, существами, настолько похожими на меня, по крайней мере, в своих реакциях на внешние раздражители, чтобы они могли убедить меня, что являются точной имитацией меня, каким я мог бы стать через пять минут. Генератор виртуальной реальности должен выполнять программы, подобные по содержанию и сложности моему разуму. Опять же сложность написания подобных программ в данном случае не проблема: мы исследуем принцип виртуального путешествия во времени, а не возможность его практического применения. Не имеет значения, откуда наш гипотетический генератор виртуальной реальности берет свои программы, потому что мы хотим понять, включает ли *набор всех возможных программ* программу, точно воспроизводящую путешествие во времени.

Наш генератор виртуальной реальности в принципе имеет средства найти все возможные варианты моего поведения в различных ситуациях. Эта информация содержится в физическом состоянии моего мозга, и с помощью достаточно точных измерений ее в принципе можно считать оттуда. Одним из методов (вероятно, неприемлемым) осуществить это мог бы быть следующий: генератор виртуальной реальности заставляет мой мозг в виртуальной реальности вступить во взаимодействие с тестовой средой, записывает его поведение, а затем восстанавливает его первоначальное состояние, возможно, «открутив» это поведение назад. Причина того, почему это может быть неприемлемым, в том, что я, по-видимому, *ощутил* бы эту проверяемую среду, и, хотя я потом не вспомнил бы ее, я хочу, чтобы генератор виртуальной реальности давал мне только ощущения, точно заданные мной, и никакие другие.

В любом случае для наших целей значение имеет только то, что, поскольку мой мозг является физическим объектом, принцип Тьюринга гласит, что он входит в репертуар универсального генератора виртуальной реальности. Таким образом, в принципе возможно, что копия меня пройдет проверку на точность сходства со мной. Но это не единственный тест, который я хочу осуществить. Главным

образом я хочу проверить, подлинно ли передается само путешествие во времени. В этой связи я хочу выяснить не только то, является ли этот человек подлинным мной, но подлинно ли то, что он из будущего. Отчасти я могу проверить это, расспросив его. Он должен сказать, что помнит, как пять минут назад находился в моем положении, а потом прошел через вращающуюся дверь и встретил меня. Я также должен обнаружить, что он проверяет подлинность *меня*. Почему он должен делать это? Потому что самый строгий и прямой способ, которым я могу проверить его сходство с будущим мной, заключается в том, чтобы подождать, пока я пройду через машину времени, а потом посмотреть на две вещи: во-первых, ведет ли себя копия меня, которую я там обнаруживаю, так же, как, по моим воспоминаниям, вел себя я; и во-вторых, веду ли я себя так, как, по моим воспоминаниям, вела себя *копия*.

В обоих этих отношениях имитация определенно не пройдет проверку! При моей первой же и самой скромной попытке вести себя отлично от того, как, по моим воспоминаниям, вела себя моя копия, у меня это получится. И заставить мою копию вести себя отлично от того, как вел себя я, будет почти так же легко: все, что мне нужно сделать, — это задать ей вопрос, который я на его месте не задавал и на который можно дать характерный ответ. Таким образом, как бы сильно они ни походили на меня внешне и лично, люди, появляющиеся из виртуальной машины времени, не являются подлинным воспроизведением личности, которой я вскоре стану. Да они и не должны ею являться — как-никак я твердо решил вести себя отлично от них, когда придет моя очередь воспользоваться машиной времени, и, поскольку сейчас генератор виртуальной реальности разрешает мне свободно взаимодействовать с воссозданной средой, нет ничего, что помешало бы мне осуществить свое намерение.

Подведем итог. В начале эксперимента я встречаю человека, в котором узнаю себя с небольшими отличиями. Эти отличия последовательно указывают на то, что он из будущего: он помнит лабораторию в 12:05, в то время, которое, с моей точки зрения, еще не наступило. Он помнит, что в это время двинулся, прошел через вращающуюся дверь и прибыл в полдень. Он помнит,

что до всего этого он начал эксперимент в полдень, впервые увидел вращающуюся дверь и появляющиеся из нее копии себя. Он говорит, что это произошло более пяти минут назад, в соответствии с его субъективным восприятием, хотя в соответствии с моим субъективным восприятием весь эксперимент еще не длится и пяти минут. И так далее. Однако, хотя он и проходит все проверки на бытность версией меня из будущего, он не является *моим* будущим, и это доказуемо. Когда я проверяю, является ли он именно тем человеком, которым я собираюсь стать, он не проходит эту проверку. Сходным образом и он говорит мне, что я не прохожу проверку на бытность его прошлым, поскольку я не делаю в точности то, что, как он помнит, делал он.

Итак, отправляясь в прошлое лаборатории, я обнаруживаю, что это не то прошлое, из которого я только что пришел. Из-за взаимодействия со мной та копия меня, которую я нахожу там, ведет себя не точно так, как, по моим воспоминаниям, вел себя я. Следовательно, если бы генератор виртуальной реальности записывал все, что происходит во время этой последовательности путешествия во времени, ему опять пришлось бы запомнить несколько снимков на каждый момент, определяемый часами в лаборатории, и на этот раз все они были бы отличны. Другими словами, существовало бы несколько различных, параллельных историй лаборатории за пятиминутный период путешествия во времени. Опять же, я воспринимал каждую из этих историй по очереди. Но на этот раз я ощутил все их во взаимодействии, поэтому нельзя сказать, что хоть одна из них менее реальна, чем все остальные. Таким образом, в данном случае воспроизводится не что иное как маленький мультиверс. Если бы это было физическое путешествие во времени, многочисленные снимки в каждый момент были бы параллельными вселенными.

Зная квантовую концепцию времени, мы не должны удивляться этому. Нам известно, что снимки, которые в нашем повседневном опыте собираются приблизительно в одну временную последовательность, в действительности являются параллельными вселенными. Мы обычно не воспринимаем другие параллельные вселенные, существующие в *то же самое* время, но у нас есть причина верить в их существование. Таким образом, если мы найдем ка-

кой-либо способ, пока еще неопределенный, переместиться в более раннее время, почему нам следует ожидать, что этот способ непременно поместит каждую копию нас на конкретный снимок, который эта копия уже переживала? Почему нам следует ожидать, что каждый гость, которого мы принимаем из будущего, будет приходиться с конкретных будущих снимков, на которых мы, в конечном итоге, обнаружим себя? В действительности нам не следует ожидать этого. Просить разрешения на взаимодействие со средами прошлого — значит просить разрешения изменять его, что по определению означает просить находиться на снимке, отличном от того, который мы помним. Путешественник во времени вернулся бы на тот же самый снимок (или — что, возможно, равносильно — на идентичный снимок) только в чрезвычайно хитром случае, о котором я уже рассказал выше, когда между встречающимися копиями не происходит эффективного взаимодействия, и путешественник во времени умудряется сделать все параллельные истории идентичными.

Теперь давайте подвергнем виртуальную машину времени самому главному тесту. Давайте намеренно разыграем парадокс. Я заявляю твердое намерение, которое уже сформулировал выше: я принимаю решение, что если копия меня появляется из машины времени в полдень, то я *не буду входить* в нее в 12:05, а также и в любое другое время, пока длится эксперимент. Но если никто не появится, то в 12:05 я *войду* в машину времени, выйду из нее в полдень, а после этого более не воспользуюсь машиной времени. Что же произойдет? Появится кто-нибудь из машины времени или нет? Появится. И не появится! Ответ зависит от того, о какой вселенной мы говорим.

Не забывайте, что в полдень в лаборатории происходит больше, чем какое-то одно событие. Допустим, что я не вижу никого, кто вышел бы из машины времени, как это показано на точке «Старт» справа на рис. 12.3. Затем, действуя в соответствии со своим твердым намерением, я жду, когда наступит 12:05, и затем прохожу через уже знакомую вращающуюся дверь. Выходя из нее в полдень, я, конечно, обнаруживаю другую версию себя, стоящую у точки «Старт» *слева* на рис. 12.3. Беседуя, мы выясняем, что я и он сфор-

мировали одно и то же намерение. Поэтому, поскольку я появился в его вселенной, он будет вести себя отлично от того, как вел себя я. Действуя в соответствии с тем же самым намерением, что и у меня, он *не использует* машину времени. С этого момента мы с ним можем продолжить взаимодействие в течение всего времени имитации, и в той вселенной будет две версии меня. Во вселенной, из которой я пришел, лаборатория остается пустой после 12:05, так как я никогда не вернусь туда. Парадокса нет. Обе версии меня преуспели в осуществлении нашего общего намерения, которое, следовательно, все-таки не было логически неосуществимым.

Я и мое альтер эго в этом эксперименте имели различные впечатления. Он видел, как кто-то выходит из машины времени в полдень, а я этого не видел. Наши ощущения в равной степени соответствовали бы нашим намерениям и в равной степени не были бы парадоксальны, если бы мы поменялись ролями. Иначе говоря, я мог бы видеть, как он выходит из машины времени в полдень, а сам не воспользовался бы ей. В этом случае мы оба завершили бы свое путешествие в той вселенной, в которой начал его я. В той вселенной, в которой начал свое путешествие он, лаборатория осталась бы пустой.

Какую из этих двух самосогласованных возможностей покажет мне генератор виртуальной реальности? Во время воспроизведения процесса, мультиверсного по своей внутренней сущности, я играю только одну из двух копий меня; вторую копию создает программа. В начале эксперимента эти две копии выглядят идентично (хотя в физической реальности они различны, потому что только одна из них соединена с физическим мозгом и телом вне виртуальной среды). Но в физической версии эксперимента — если бы машина времени физически существовала — две вселенные, содержащие копии меня, которые собирались встретиться, изначально были бы строго идентичны, и обе копии были бы в равной степени реальны. В мультиверсный момент, когда мы встретились (в одной вселенной) или не встретились (в другой), эти две копии стали бы различными. Бессмысленно спрашивать, которая копия меня испытала бы какие-то ощущения: до тех пор, пока мы идентичны, такого понятия, как «которая из нас», не существует. Параллельные вселенные не имеют скрытых порядковых номеров: они различаются только

по тому, что происходит в них. Следовательно, чтобы воспроизвести все это для блага одной копии меня, генератор виртуальной реальности должен воссоздать для меня эффект существования в виде двух идентичных копий, которые впоследствии становятся различными и имеют различные ощущения. Он может сделать так, что произойдет случайный выбор, с равной вероятностью, какую из двух ролей он будет играть (а следовательно, с учетом моего намерения, какую роль буду играть я). Дело в том, что произвольный выбор в действительности означает подбрасывание некоей электронной версии беспристрастной монетки, а беспристрастная монетка — это такая монетка, которая в половине вселенных, где ее подбросили, падает орлом, а в другой половине — решкой. Таким образом, в половине вселенных я буду играть одну роль, а в другой половине — другую. Именно это и произошло бы с реальной машиной времени.



Рис. 12.3. Траектории передвижения в мультиверсе путешественника во времени, который пытается «разыграть парадокс»

Мы видели, что способность генератора виртуальной реальности в точности воспроизвести путешествие во времени зависит от того, обладает ли он подробной информацией о намерениях пользователя. Возникает вопрос, избежали ли мы всех парадоксов на самом деле. Если генератор виртуальной реальности заранее знает, что я собираюсь сделать, действительно ли я свободен проводить любые тесты, которые выберу? В данном случае нет необходимости задаваться глубокими вопросами о природе свободной воли. Я действительно свободен делать все, что захочу в этом экспери-

менте, в том смысле, что для каждого возможного способа, который я могу выбрать для реакции на смоделированное прошлое — включая и произвольную реакцию, если я захочу этого, — генератор виртуальной реальности разрешит мне реагировать именно так. И мои действия влияют на все среды, с которыми я взаимодействую, и все они оказывают на меня ответное воздействие точно так, как они делали бы это, если бы путешествия во времени не происходило.

Генератору виртуальной реальности необходима информация из моего мозга не для того, чтобы предсказать *мои* действия, а для того, чтобы воссоздать поведение моих двойников из других вселенных. Его проблема заключается в том, что в реальной версии этой ситуации существовали бы мои двойники из параллельных вселенных, которые первоначально были бы идентичными, а следовательно, имели бы те же самые склонности, что и я, и принимали бы те же самые решения. (Еще дальше в мультиверсе существовали бы и другие мои партнеры, которые отличались бы от меня уже в начале эксперимента, но машина времени никогда не позволила бы мне встретиться с этими версиями.) Если бы существовал какой-то иной способ воспроизведения этих людей, генератору виртуальной реальности не понадобилась бы информация из моего мозга, как не понадобились бы ему и непомерные вычислительные ресурсы, о которых мы говорили. Например, если бы люди, которые знакомы со мной, были бы способны скопировать меня с некоторой степенью точности (кроме внешних качеств, как то: внешний облик и тон голоса, воспроизвести которые довольно просто), то генератор виртуальной реальности мог бы использовать этих людей, чтобы они сыграли роли моих двойников из параллельных вселенных — и тем самым мог бы воспроизвести путешествие во времени с той же степенью точности.

Конечно, реальная машина времени не столкнулась бы с этими проблемами. Она просто предоставила бы пути, на которых могли бы встретиться я и мои двойники, которые уже существуют, и она не ограничила бы ни наше поведение, ни наши взаимодействия, когда мы действительно встретились бы. На способы соединения этих путей — другими словами, к каким снимкам привела бы машина времени — повлияло бы мое физическое и душевное состо-

яние. Здесь нет никаких отличий от обычной ситуации, в которой мое физическое состояние, отраженное в моей склонности к различному поведению, влияет на происходящее. Огромная разница между этим и повседневным опытом в том, что каждая копия меня потенциально имеет большое влияние на другие вселенные (через путешествие в них).

Действительно ли способность перемещаться в прошлое других вселенных, но не нашей собственной, эквивалентна путешествию во времени? Верно ли, что имеет смысл только путешествие *между вселенными*, но не путешествие во времени? Нет. Процессы, описанные мной, действительно являются путешествиями во времени. Прежде всего, дело не в том, что мы *не можем* переместиться на тот снимок, на котором мы уже были. Если мы правильно все устроим, то мы сможем это сделать. Конечно, если мы изменим в прошлом что-либо — если мы сделаем прошлое отличным от того прошлого, из которого мы пришли, — то окажемся в другом прошлом. Настоящее путешествие во времени позволяет нам изменить прошлое. Другими словами, оно позволяет нам сделать прошлое отличным от того, которое мы помним (в этой вселенной). Это значит — отличным от того, каким оно действительно является на снимках, куда мы не попадали и ничего там не меняли. И в число этих снимков по определению входят те, на которых мы были и помним это.

Таким образом, желание изменить конкретные прошлые снимки, на которых мы однажды были, действительно не имеет смысла. Но это никак не связано с путешествием во времени. Эта бессмыслица проистекает непосредственно из бессмысленной классической теории о потоке времени. Изменить прошлое — значит выбрать, на каком снимке находиться, а вовсе не заменить какой-то конкретный снимок прошлого другим. В этом отношении изменить прошлое — все равно что изменить будущее, чем мы постоянно занимаемся. Всякий раз, когда мы делаем выбор, мы изменяем будущее: мы делаем его не таким, каким оно стало бы, если бы мы сделали иной выбор. Подобная идея не имела бы смысла в классической физике пространства-времени с ее единственным будущим, определяемым настоящим. Но она имеет смысл в квантовой физике. Делая выбор, мы изменяем будущее по сравнению с тем, каким оно

будет в тех вселенных, где мы делаем другой выбор. Но ни один конкретный снимок будущего ни в коем случае не изменяется. Он не может измениться, поскольку потока времени, по отношению к которому он мог бы измениться, не существует. «Изменение» будущего означает выбор снимка, на котором мы будем находиться; «изменение» прошлого означает в точности то же самое. Поскольку потока времени не существует, не существует и изменения конкретного снимка прошлого, к примеру, того, на котором, как мы помним, мы были. Тем не менее, если мы каким-то образом получим физический доступ к прошлому, нет никакой причины, почему мы не могли бы изменить его в том же самом смысле, в каком мы изменяем будущее, выбирая пребывание на снимке, отличном от того, где бы мы находились, сделай мы другой выбор.

Аргументы, основанные на виртуальной реальности, помогают при понимании путешествия во времени, потому что понятие виртуальной реальности требует серьезного отношения к контрфактуальным событиям, а потому квантовая концепция времени, подразумевающая наличие многих вселенных, кажется естественной, будучи воспроизведенной в виртуальной реальности.

Убедившись, что путешествие в прошлое входит в репертуар универсального генератора виртуальной реальности, мы понимаем, что идея о путешествии в прошлое вполне осмысленна. Но это не означает, что она непременно физически достижима. Ведь в виртуальной реальности возможно и путешествие со сверхсветовой скоростью, и вечные двигатели, и много всего другого, что невозможно физически. Никакое количество рассуждений о виртуальной реальности не может доказать, что данный процесс разрешен законами физики (но рассуждение может доказать, что он не разрешен: если бы мы пришли к противоположному выводу, это означало бы, в соответствии с принципом Тьюринга, что путешествие во времени физически невозможно). Так что же наши позитивные выводы о виртуальном путешествии во времени говорят нам о физике?

Они говорят нам, как выглядело бы путешествие во времени, если бы оно имело место. Они говорят нам, что путешествие в прошлое неизбежно является процессом, происходящим в нескольких взаимодействующих и взаимосоединенных вселенных. В этом про-

цессе участники, куда бы они ни отправились во времени, в общем случае перемещаются из одной вселенной в другую. Точные способы соединения вселенных зависят, помимо всего прочего, от намерений участников.

Таким образом, чтобы путешествие во времени было физически возможно, необходимо существование мультиверса. Кроме того, необходимо, чтобы законы физики, управляющие мультиверсом, были таковы, что в присутствии машины времени и потенциальных путешественников во времени вселенные становились бы взаимосоединенными именно так, как описал я, и никак иначе. Например, если я не собираюсь использовать машину времени, что бы ни случилось, на моем снимке не должна появиться ни одна версия меня, путешествующая во времени; то есть с моей вселенной не может соединиться ни одна вселенная, в которой версии меня используют машину времени. Если я определенно собираюсь использовать машину времени, то моя вселенная должна получить соединение с другой вселенной, в которой я тоже определенно использую ее. А если я намерен разыграть «парадокс», то, как мы видели, моя вселенная должна соединиться с другой вселенной, в которой копия меня имеет такое же намерение, что и я, но, осуществляя это намерение, ведет себя отлично от меня.

Удивительно, но все это — как раз то, что предсказывает квантовая теория! Вкратце результат таков, что если пути в прошлое действительно существуют, то путешествующие по ним свободны взаимодействовать с окружающей их средой так же, как они могли бы делать это, если бы эти пути не вели в прошлое. Путешествие во времени ни в коем случае не становится логически невозможным и не налагает особых ограничений на поведение путешественников во времени.

Все это оставляет в силе вопрос, возможно ли физически существование путей в прошлое. Этот вопрос был предметом многих исследований и все еще является в высшей степени спорным. Обычно отправной точкой является набор уравнений, формирующих (предсказательную) основу общей теории относительности Эйнштейна — нашей лучшей теории пространства и времени на сегодняшний день. Эти уравнения, известные как *уравнения Эйн-*

штейна, имеют множество решений, каждое из которых описывает некую возможную четырехмерную конфигурацию пространства, времени и гравитации. Уравнения Эйнштейна определенно подразумевают возможность существования путей в прошлое; обнаружено много решений с таким свойством. До недавнего времени принятая практика состояла в том, что такие решения последовательно игнорировались. Но это никоим образом не следовало ни из самой теории, ни из какого-либо физического довода вообще. Так происходило потому, что физики находились под впечатлением, что путешествие во времени «привело бы к парадоксам», и, следовательно, такие решения уравнений Эйнштейна должны быть «нефизическими». Это произвольное мнение напоминает о том, что произошло в первые годы после появления теории общей относительности, когда сам Эйнштейн отверг решения, описывающие Большой взрыв и расширение вселенной. Он попытался изменить уравнения так, чтобы они описывали статическую вселенную. Позднее он говорил об этом как о величайшей ошибке своей жизни, а расширение вселенной экспериментально подтвердил американский астроном Эдвин Хаббл. В течение многих лет ошибочно отвергались как «нефизические» и решения, полученные немецким астрономом Карлом Шварцшильдом, в которых впервые описывались черные дыры. Эти решения описывали контринтуитивные явления, такие как область, которую в принципе невозможно покинуть, и гравитационные силы, которые в центре черной дыры становятся бесконечными. В настоящее время господствует мнение о том, что черные дыры действительно существуют и действительно обладают теми свойствами, которые предсказывали уравнения Эйнштейна.

Взятые буквально, уравнения Эйнштейна предсказывают, что путешествие в прошлое возможно вблизи массивных вращающихся объектов, таких как черные дыры, если они вращаются достаточно быстро, а также в некоторых других ситуациях. Но многие физики сомневаются в реальности этих предсказаний. Не известно ни одной достаточно быстро вращающейся черной дыры, а кроме того, было показано (не вполне убедительно), что, скорее всего, невозможно увеличить скорость вращения черной дыры искусственно,

потому что любой быстро вращающийся материал, направленный в черную дыру, будет выброшен обратно и не сможет в нее попасть. Возможно, скептики правы, но поскольку их нежелание принять возможность путешествия во времени исходит из убеждения, что такое путешествие ведет к парадоксам, оно не является обоснованным.

Даже когда уравнения Эйнштейна будут поняты более полно, они не дадут окончательных ответов по вопросу о путешествии во времени. Общая теория относительности предшествует квантовой теории и не полностью совместима с ней. Никто еще не преуспел в формулировке удовлетворительной квантовой версии — квантовой теории гравитации. Тем не менее, исходя из приведенных мной аргументов, в ситуациях, связанных с путешествием во времени, должны доминировать квантовые эффекты. Типичные версии-кандидаты, претендующие на звание квантовой теории гравитации, не только позволяют существование в мультиверсе связей с прошлым, они предсказывают, что подобные связи непрерывно образуются и самопроизвольно рвутся. Это происходит во всем пространстве и времени, но только на субмикроскопическом уровне. Типичный путь, созданный этими эффектами, имеет ширину около 10^{-35} м и остается открытым в течение планковского времени (около 10^{-43} секунды) и, следовательно, простирается в прошлое только на планковское время.

Путешествие в будущее, для которого по существу необходимы только эффективные ракеты, находится на умеренно отдаленном, но уверенно предсказуемом горизонте технологии. Путешествие в прошлое, которое требует манипуляций с черными дырами или иного, столь же сильного разрушения структуры пространства и времени, станет реализуемым на практике только в отдаленном будущем, если станет вообще. Сейчас мы не знаем ничего в законах физики, что исключало бы путешествие в прошлое; напротив, они делают возможность путешествия во времени вполне правдоподобной. Будущие открытия в фундаментальной физике могут изменить это. Возможно, будет открыто, что квантовые флуктуации в пространстве и времени становятся чрезвычайно сильными около машин времени и надежно перекрывают вход в них (Сти-

вен Хокинг, например, утверждал, что некоторые сделанные им вычисления подтверждают вероятность этого, однако его доводы не являются вполне убедительными). Возможно, некое до сих пор неизвестное явление может исключить путешествие в прошлое — или же предоставить новый и более простой метод его осуществления. Невозможно предсказать будущий рост знания. Но если при будущем развитии фундаментальной физики сохранится возможность путешествия во времени в принципе, то его практическое осуществление, несомненно, станет всего лишь технической проблемой, которая в конце концов будет решена.

Из-за того, что ни одна машина времени не обеспечивает проникновения в то время, когда ее еще не было, и из-за того способа соединения вселенных, о котором говорит квантовая теория, существуют некоторые ограничения на то, что мы можем ожидать узнать с помощью машин времени. Как только мы построим машину времени, но не раньше, мы можем ожидать, что из нее появятся гости или, по крайней мере, послания из будущего. Что они скажут нам? Они точно не сообщат нам новостей о нашем собственном будущем. Детерминистический кошмар пророчества неизбежной будущей гибели, несмотря на наши попытки избежать ее (а может быть, вследствие этих попыток), — это содержание мифов и научной фантастики. Гости из будущего могут знать о нашем будущем не больше нас самих, поскольку они пришли не из него. Но они могут рассказать нам о будущем своей вселенной, прошлое которой было идентично прошлому нашей вселенной. Они могут принести записанные новости и аналитические программы, а также газеты, даты на которых начинаются с завтрашнего дня и идут в будущее. Если их общество приняло какое-то ошибочное решение, которое привело к катастрофе, они могут предостеречь нас от принятия этого решения. Мы можем последовать их совету, а можем и не последовать ему. Если мы последуем ему, возможно, мы избежим катастрофы или — гарантий здесь нет и быть не может — обнаружим, что результат еще хуже, чем то, что произошло с ними.

В среднем можно полагать, что мы извлечем большую пользу из изучения истории их будущего. Хотя это и не история нашего будущего и хотя знание о возможной приближающейся катастрофе

не равноценно знанию того, как ее предотвратить, видимо, мы многое могли бы извлечь из такой подробной записи того, что, с нашей точки зрения, *могло бы* произойти.

Наши гости могут принести подробности великих достижений науки и искусства. Если это произошло в близком будущем другой вселенной, вероятно, что двойники тех людей, которые сделали это, существуют и в нашей вселенной и, возможно, уже работают в направлении этих достижений. Внезапно им преподносят законченные варианты их работы. Будут ли они благодарны?

Здесь заключен еще один очевидный парадокс путешествия во времени. Поскольку этот парадокс вроде бы не нарушает логику, а лишь создает странности, его чаще обсуждают в художественной литературе, нежели в научных аргументах против путешествий во времени (хотя некоторые философы, например, Майкл Дамметт¹, относятся к нему вполне серьезно). Я называю его *парадоксом знания* в отношении путешествия во времени. Вот как обычно его представляют. Историк из будущего, который интересуется творчеством Шекспира, использует машину времени, чтобы посетить великого драматурга в то время, когда тот пишет «Гамлета». Они беседуют, и во время этой беседы путешественник во времени показывает Шекспиру текст монолога Гамлета «Быть или не быть», который он взял с собой из будущего. Шекспиру он нравится, и он включает его в пьесу. В другой версии Шекспир умирает, а путешественник во времени присваивает себе его личность, достигая успеха тем, что притворяется, будто пишет пьесы, а на самом деле, тайно переписывает их из *полного собрания сочинений Шекспира*, которое он привез с собой из будущего. Еще в одной версии путешественник во времени озадачен тем, что вообще не может найти Шекспира. Через некую цепочку случайностей он обнаруживает, что сам изображает Шекспира и опять же присваивает себе его пьесы. Ему нравится такая жизнь, и годы спустя он осознает, что именно он *стал* Шекспиром, потому что другого просто не было.

¹ Майкл Дамметт (1925–2011) — британский философ. Занимался философией математики, логики, языка и метафизики. — *Прим. ред.*

Интересно, что во всех этих историях машина времени должна быть создана некоторой внеземной цивилизацией, которая смогла освоить путешествия во времени уже во времена Шекспира и которая захотела разрешить нашему историку использовать один путь в прошлое из конечного и невозобновимого их числа для путешествия в то время. Или возможно (но даже менее вероятно, как я полагаю), что вблизи какой-то черной дыры может существовать природная машина времени, которую можно бы использовать.

Все эти истории относятся к совершенно согласованной цепочке — или, скорее, к кругу — событий. Причина их загадочности и того, почему они заслуживают названия парадокса, заключается в том, что в каждом варианте изложения великая литература появляется без человека, написавшего ее: никто не написал ее в самом начале, никто не создал ее. И это утверждение, хотя и логически состоятельное, глубоко противоречит нашему пониманию того, откуда исходит знание. В соответствии с эпистемологическими принципами, которые я изложил в главе 3, знание не появляется сразу в полной форме. Оно существует только как результат творческих процессов, которые суть постепенные эволюционные процессы, которые всегда берут начало с проблемы, продолжаются новыми предварительными теориями, критикой и исключением ошибок и заканчиваются новой и более предпочтительной проблемной ситуацией. Именно так Шекспир писал свои пьесы. Именно так Эйнштейн открыл свои уравнения поля. Именно так все мы преуспеваем в решении любой проблемы, большой или маленькой, в нашей жизни или при создании чего-то ценного.

Так появляются и новые виды живых существ. Аналогом «проблемы» в данном случае является экологическая ниша. «Теории» — это гены, а новые предварительные теории — это видоизмененные гены. «Критика» и «исключение ошибок» — это естественный отбор. Знание создается намеренным действием людей, а биологические адаптации — слепым неразумным механизмом. Слова, которые мы используем для описания этих двух процессов, различны, да и сами эти процессы физически не похожи, но детальные законы эпистемологии, которые управляют обоими процессами, одни и те же. В одном случае эти законы называются теорией

роста научного знания Поппера, в другом — теорией эволюции Дарвина.

Парадокс знания можно было бы сформулировать и для ныне живущих видов. Скажем, мы с помощью машины времени переносим каких-нибудь млекопитающих в век динозавров, когда млекопитающих еще не было, и там выпускаем их на свободу. Динозавры вымирают, и наши млекопитающие сменяют их. Таким образом, новые виды появляются неэволюционным путем. В данном случае даже проще увидеть, почему эта версия неприемлема с философской точки зрения: она подразумевает недарвиновское происхождение видов, а конкретно — *креационизм*. И хотя здесь не задействован ни один Создатель в традиционном смысле этого слова, тем не менее происхождение видов в этой истории явно сверхъестественно: история не дает никаких объяснений (и *исключает возможность их существования*) того, каким образом возникли определенные и сложные адаптации видов к своим нишам.

Таким образом, ситуации, связанные с парадоксом знания, нарушают принципы эпистемологии или, если хотите, эволюции. Они парадоксальны только потому, что включают создание сложного человеческого знания или сложных биологических адаптаций из ничего. Аналогичные истории, связанные с объектами другого рода или информацией на петле времени, не являются парадоксальными. Заметьте камешек на пляже; затем вернитесь во вчерашний день, найдите его где-то в другом месте и переложите туда, где вы собираетесь его найти. Почему вы нашли его именно в этом месте? Потому что вы переложили его туда. Почему вы переложили его туда? Потому что вы нашли его там. Вы стали причиной того, что некоторая информация (положение камешка) появилась на самосогласованной петле времени. И что же? Камешек должен где-то лежать. При условии, что история не содержит получения чего-то из ничего, как в случае со знанием или адаптацией, она не является парадоксом.

С перспективы мультиверса путешественник во времени, который посещает Шекспира, приходит не из будущего именно этой копии Шекспира. Он может повлиять на ту копию, к которой он пришел, или даже, возможно, заменить ее собой. Но он никогда не сможет посетить копию, которая существовала в той вселенной, из которой он

пришел. А именно *эта* копия написала пьесы. Таким образом, у пьес был подлинный автор, и в этой истории нет парадокса, связанного с петлей времени. Знание и адаптация, даже при наличии путей в прошлое, появляются только постепенно, через действия творческих способностей человека или биологической эволюции, и никак иначе.

Мне бы хотелось иметь возможность сообщить, что и это требование строго воплощается в законах, которые квантовая теория накладывает на мультиверс. Я ожидаю, что так оно и есть, но это трудно доказать, так как трудно выразить желаемое свойство на современном языке теоретической физики. Какая математическая формула отличает «знание» или «адаптацию» от бесполезной информации? Какие физические качества отличают «созидательный» процесс от несозидательного? Хотя мы еще не можем ответить на эти вопросы, я не думаю, что ситуация безнадежна. Вспомните выводы главы 8 о важности жизни и знания в мультиверсе. Там я указал (по причинам, не имеющим связи с путешествиями во времени), что создание знания и биологическая эволюция — физически важные процессы. И одна из причин заключалась в том, что эти, и только эти, процессы имеют определенное влияние на параллельные вселенные — создают трансвселенскую структуру, заставляя вселенные становиться похожими друг на друга. Когда мы однажды поймем детали этого влияния, возможно, мы сумеем определить знание, адаптацию, творческие способности и эволюцию через конвергенцию вселенных.

Когда я «разыгрываю парадокс», в одной вселенной в конечном итоге существует две копии меня, а в другой — ни одной. Общее правило состоит в том, что после того, как произошло путешествие во времени, общее количество копий меня, подсчитанное во всех вселенных, остается неизменным. Точно так же обычные законы сохранения массы, энергии или других физических величин остаются истинными для всего мультиверса в целом, хотя могут и не быть истинными в какой-то одной вселенной.

Однако не существует закона сохранения знания. Обладание машиной времени обеспечило бы нам доступ к знанию из совершенно нового источника, а именно, из творческих способностей разума в других вселенных. Разум других вселенных также мог бы полу-

чать знание от нас, поэтому можно было бы в общем смысле говорить о «торговле» знанием — а в действительности, об обмене предметами, воплощающими знание, — между множеством вселенных. Но эту аналогию нельзя воспринимать слишком буквально. Мультиверс никогда не будет зоной свободной торговли, потому что законы квантовой механики налагают жесткие ограничения на то, какие снимки можно соединить. С одной стороны, две вселенные соединяются только в тот момент, когда они являются идентичными: само соединение порождает начало их расхождения. И только когда эти различия накопились и в одной вселенной было создано новое знание и отправлено обратно во времени в другую вселенную, мы можем получить знание, которого еще нет в нашей вселенной.

Более точный способ описать обмен знанием между вселенными — думать о всех наших процессах, создающих знание, о всей нашей культуре и цивилизации и о всех мыслительных процессах в мозгу каждого индивидуума, а в действительности и обо всей эволюционирующей биосфере как о гигантском *вычислении*. Все это вместе выполняет самомотивированную, самогенерируемую компьютерную программу. Конкретнее, как я уже упоминал, это программа виртуальной реальности в процессе воссоздания всего сущего со все увеличивающейся точностью. В других вселенных есть другие версии этого генератора виртуальной реальности: некоторые — идентичны нашему, другие — весьма отличны от него. Если у такого генератора виртуальной реальности был бы доступ к машине времени, он мог получить некоторые результаты вычислений, выполненных его партнерами из других вселенных — в той степени, в которой законы физики позволили бы необходимый взаимный обмен информацией. Каждая часть знания, получаемая из машины времени, будет иметь автора где-то в мультиверсе, но он может принести пользу несказанному количеству различных вселенных. Таким образом, машина времени — это вычислительный ресурс, позволяющий осуществить определенные типы вычислений с гораздо большей эффективностью, чем их мог бы осуществить любой отдельный компьютер. Машина времени достигает такой высокой производительности, эффективно разделяя вычислительную работу между своими копиями в различных вселенных.

В отсутствие машины времени взаимный обмен информацией между вселенными оказывается ничтожно малым, потому что законы физики предсказывают в этом случае лишь незначительный причинно-следственный контакт между ними. С хорошей степенью приближения можно сказать, что знание, созданное в одном наборе идентичных снимков, достигает относительно немногих других снимков, а именно тех, которые сложены в пространства-времени к будущему относительно исходных снимков. Но это только приближение. Явления интерференции — суть результат причинно-следственного контакта между соседними вселенными. В главе 9 мы видели, что даже этот микроскопический уровень контакта можно использовать для обмена важной, вычислительно полезной информацией между вселенными.

Изучение путешествия во времени предоставляет поле деятельности — хотя в настоящее время только для теоретических, мысленных экспериментов, — на котором мы видим некоторые явно выраженные связи между тем, что я называю «четырьмя основными нитями». Все четыре нити играют важную роль в объяснении путешествия во времени. Может быть, однажды путешествие во времени станет реальностью, а может, и нет. Но если будет, то оно не должно потребовать фундаментального изменения во взглядах на мир, по крайней мере, для тех, кто в целом разделяет мировоззрение, предложенное мной в этой книге. Все связи, которые путешествие во времени могло бы установить между прошлым и будущим, понятны и непарадоксальны. И все связи, которые оно создало бы между, на первый взгляд, несвязанными областями знания, все равно уже существуют.

Терминология

Путешествие во времени — этого названия в действительности заслуживает только путешествие в прошлое.

Путешествие в прошлое — при путешествии в прошлое путешественник ощущает один и тот же момент, определяемый внешними часами и календарями более чем однажды в субъективной последовательности.

Путешествие в будущее — при путешествии в будущее путешественник достигает более позднего момента в более короткое субъективное время, чем то, которое определяется внешними часами и календарями.

Машина времени — физический объект, который дает пользователю возможность путешествия в прошлое. Лучше думать о ней как о месте или пути, чем как о устройстве перемещения.

Парадокс путешествия во времени — очевидно невозможная ситуация, которую мог бы создать путешественник во времени, если бы путешествие во времени было возможно.

Парадокс дедушки — парадокс, при котором человек отправляется в прошлое и затем мешает себе сделать это.

Парадокс знания — парадокс, при котором знание создается из ничего, через путешествие во времени.

Резюме

Путешествие во времени, возможно, будет однажды реализовано, а возможно, и нет, но оно не парадоксально. Если человек отправляется в прошлое, он сохраняет обычную свободу действий, но в общем случае попадает в конце в прошлое другой вселенной. Изучение путешествия во времени — это область теоретических исследований, в которой важны все четыре основные нити: квантовая механика с ее параллельными вселенными и квантовой концепцией времени; теория вычисления из-за связи между виртуальной реальностью и путешествием во времени и из-за того, что отличительные черты путешествия во времени можно анализировать как новые способы вычисления; эпистемология и теория эволюции из-за ограничений, которые они налагают на способ появления знания.

Четыре основные нити не только связаны как часть структуры реальности, есть еще и замечательные параллели между четырьмя областями знания как такового. Все четыре основные теории имеют необычный статус, который заключается в том, что большинство людей, работающих в этих областях, одновременно принимают и отвергают их, полагаются на них и не верят им.

Четыре нити

Широко распространен следующий стереотип научного процесса: молодой новатор-идеалист, противостоящий закоснелым людям из научного «истэблшмента». Эти консерваторы, ограниченные удобной традиционностью, которую они защищают и пленниками которой являются, приходят в ярость из-за любого вызова, брошенного ей. Они ведут себя иррационально. Они отказываются прислушиваться к критике, вступать в спор или воспринимать доказательства и пытаются подавить идеи новатора.

Этот стереотип был возведен в ранг философии Томасом Куном¹, автором книги «Структура научных революций». С точки зрения Куна, научный истэблшмент определяется верой его членов в набор общепринятых теорий, которые вместе формируют мировоззрение, или *парадигму*. Парадигма — это психологический и теоретический аппарат, на основе которого его приверженцы наблюдают и объясняют все, что присутствует в их опыте. (Также можно говорить о парадигме в пределах любой самодостаточной области знания, например, в физике.) Если какое-то наблюдение нарушает соответствующую парадигму, ее приверженцы просто не видят это нарушение. Столкнувшись с данными об этом нарушении, они обязаны рассматривать его как «аномалию», экспериментальную ошибку, обман — как все, что позволило бы им поддерживать

¹ Томас Семюел Кун (1922–1996) — американский физик, специалист по истории и философии науки. В книге «Структура научных революций» (The Structure of Scientific Revolutions, 1962) выдвинул концепцию научной парадигмы и ее смены. — *Прим. ред.*

парадигму ненарушенной. Таким образом, Кун считает, что научная ценность открытости критике и осторожности при принятии теорий, а также научные методы экспериментальной проверки и отказ от общепринятых теорий после их опровержения — это главным образом мифы, которым человек просто не в силах следовать, имея дело с любой важной научной проблемой.

Кун принимает, что для *несущественных* научных вопросов действительно имеет место нечто, похожее на научный процесс (как я обрисовал в главе 3). Дело в том, что он верит, что наука развивается перемежающимися эпохами: есть «нормальная наука» и есть «революционная наука». В эпоху нормальной науки почти все ученые верят в господствующие фундаментальные теории и изо всех сил пытаются приспособить все свои наблюдения и вспомогательные теории под эту парадигму. Их исследование состоит из попыток решить оставшиеся вопросы, улучшения практического применения теорий, систематизации, поиска новых формулировок и новых подтверждений. Когда это уместно, они вполне могут использовать методы, которые являются научными в попперовском смысле, но они никогда не откроют ничего фундаментального, потому что они никогда не задают фундаментальных вопросов. Затем неожиданно появляются несколько молодых смутьянов, отрицающих некоторые фундаментальные доктрины существующей парадигмы. Это не настоящая научная критика, поскольку сами смутьяны не подчиняются здравому смыслу. Просто они смотрят на мир на основе новой, отличной парадигмы. Как они пришли к этой парадигме? Их убедило давление накопленных данных и несовершенство объяснений, которые дает старая парадигма. (Достаточно справедливо, хотя и трудно понять, как человек может уступить давлению в виде данных, которых он, в соответствии с гипотезой, в упор не видит.) Как бы то ни было, начинается эпоха «революционной» науки. Большинство, которое все еще пытается заниматься «нормальной» наукой в рамках старой парадигмы, сражается, используя любые средства, — мешая публикациям, изгоняя еретиков с должностей в научных структурах и т. д. Последние умудряются найти способы публикации своих трудов, они высмеивают консерваторов и пытаются проникнуть во влиятельные на-

учные учреждения. Объяснительная сила новой парадигмы на ее собственном языке (ибо на языке старой парадигмы ее объяснения кажутся сумасбродными и неубедительными) привлекает новичков из рядов молодых, свободных от обязательств ученых. В обоих лагерях могут быть и дезертиры. Некоторые из старых ученых умирают. В конечном итоге одна из сторон побеждает. Если побеждают еретики, они становятся новым научным истеблишментом и столь же слепо защищают свою новую парадигму, как старый истеблишмент защищал свою; если еретики проигрывают, они становятся лишь маленьким примечанием в истории науки. В любом случае после этого возобновляется «нормальная» наука.

Этот куновский взгляд на научный процесс кажется естественным многим людям. На первый взгляд, он объясняет повторяющиеся резкие перемены, которые наука навязывает современному мышлению на языке повседневных человеческих качеств и импульсов, знакомых всем нам: это и укоренившиеся предрассудки и предубеждения, и нежелание видеть доказательства своих ошибок, и подавление несогласных из эгоистических интересов, и желание спокойной жизни и т. д. И в оппозиции всему этому — бунтарский дух молодости, поиски новизны, радость нарушения запретов и борьба за власть. В идеях Куна привлекает еще одно: он ставит ученых на место. Они больше не могут объявлять себя благородными искателями истины, использующими рациональные методы предположения, критики и экспериментальной проверки для решения задач и создания все более удачных объяснений мира. Кун открывает, что ученые — всего лишь конкурирующие группы, которые играют в бесконечные игры за право контроля территории.

Сама идея парадигмы не вызывает сомнений. Мы действительно наблюдаем и понимаем мир с помощью набора теорий, который и составляет парадигму. Но Кун ошибается, считая, что приверженность парадигме мешает человеку видеть достоинства другой парадигмы, или препятствует переходу к новой парадигме, или на самом деле мешает человеку понять две парадигмы одновременно. (Обсуждение более широких последствий этой ошибки см. в книге К. Поппера «Миф концептуального каркаса».) Конечно, всегда существует опасность того, что мы можем недооценить или полно-

стью упустить объяснительную способность новой фундаментальной теории, оценивая ее на концептуальной основе старой теории. Но это всего лишь опасность, и ее можно избежать при достаточной внимательности и интеллектуальной честности.

Верно также и то, что люди, включая ученых, и особенно те, кто занимает руководящие должности, действительно имеют склонность придерживаться общепринятого образа действий и могут с подозрением отнестись к новым идеям, поскольку весьма удобно чувствуют себя со старыми. Никто не может заявить, что все ученые в равной степени скрупулезно рациональны в своих суждениях об идеях. Неоправданная лояльность по отношению к парадигмам действительно зачастую является причиной противоречий в науке, как и везде. Но если рассмотреть теорию Куна как описание или анализ научного процесса, мы увидим ее роковую ошибку. Эта теория объясняет *переход* от одной парадигмы к другой в терминах социологии или психологии, вместо того чтобы говорить главным образом об объективных достоинствах соперничающих объяснений. Но если человек не понимает науку как поиск объяснений, тот факт, что она находит все новые и новые объяснения, каждое из которых объективно лучше предыдущего, останется необъяснимым.

Поэтому Кун вынужден решительно отрицать, что имело место объективное улучшение при последовательной смене научных объяснений, а также и то, что это усовершенствование хотя бы в принципе возможно: «... Есть [шаг], который хотели бы сделать многие философы науки и который я делать отказываюсь. Они хотят сравнивать теории как представления природы, как утверждения о том, “что действительно существует”. Хотя ни одна теория из исторической пары не является истинной, они тем не менее ищут смысл, в котором более поздняя теория является лучшим приближением к истине. Я считаю, что ничего подобного найти невозможно»¹. Таким образом, рост объективного научного знания невозможно объяснить с помощью картины Куна. Бесплезно пытаться утверждать, что сменяющие друг друга объяснения лучше только в рамках

¹ Цит. по: Lakatos and Musgrave (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*, p. 265.

их собственной парадигмы. Существуют объективные различия. Мы можем летать, тогда как большую часть истории человечества люди могли только мечтать об этом. Античные авторы не были бы слепы к действительности наших летательных аппаратов оттого лишь, что в рамках их парадигмы они не смогли бы понять принцип их работы. Причина того, почему мы можем летать, состоит в том, что мы понимаем, «что действительно существует», достаточно хорошо, чтобы построить летательные аппараты. Причина того, почему древние не могли сделать это, — в том, что их понимание было объективно хуже нашего.

Если привить реальность объективного научного прогресса на древо теории Куна, то она будет означать, что все бремя фундаментального новаторства несут несколько иконоборческих гениев. Оставшаяся часть научного общества что-то делает, конечно, но в важных вопросах она только препятствует росту знания. Этот романтический взгляд (который часто выдвигают независимо от идей Куна) также не соответствует действительности. Действительно, были гении, которые в одиночку совершали революции в науке; о некоторых из них я уже упоминал в этой книге — это Галилей, Ньютон, Фарадей, Дарвин, Эйнштейн, Гёдель, Тьюринг. Но в целом эти люди умудрялись работать, публиковать свои труды и завоевывать признание, *несмотря на* неизбежную оппозицию консерваторов и приспособленцев. (Галилей был сломлен, но не учеными-соперниками.) И хотя большинство из них сталкивались с иррациональным сопротивлением, карьера ни одного из них не соответствовала стереотипу «иконоборец против научного истэблишмента». Большинство из них получали пользу и поддержку при взаимодействии с учеными, поддерживавшими предыдущую парадигму.

Мне тоже приходилось оказываться на стороне меньшинства в фундаментальных научных спорах, но я никогда не сталкивался с чем-либо, о чем писал Кун. Конечно, как я уже сказал, большая часть научного общества не всегда настолько открыта критике, насколько это должно быть в идеале. Тем не менее степень, в которой она придерживается «должной научной практики» при проведении научных исследований, нельзя не признать замечатель-

ной. Стоит только посетить исследовательский семинар в любой фундаментальной области точных наук, чтобы увидеть, насколько отличается поведение *исследователей* от обычного поведения людей. Итак, мы видим, как эрудированный профессор, признанный ведущим экспертом в своей области, проводит семинар. Аудитория полна людей всех рангов научной иерархии: от старшекурсников, которые познакомились с этой областью только несколько недель назад, до профессоров, авторитет которых соперничает с авторитетом оратора. Академическая иерархия — это замысловатая властная структура, где карьера, влияние и репутация человека постоянно подвергаются риску, как в рабочем кабинете, так и в зале заседаний. Однако, пока идет семинар, для наблюдателя может оказаться достаточно сложным определить статус его участников. Вот самый молодой студент спрашивает: «Ваше третье уравнение действительно следует из второго? Я уверен, что нельзя пренебречь тем членом, которым пренебрегли вы». Профессор уверен, что этим членом *можно* пренебречь и что студент делает ошибочное суждение, которое не сделал бы более опытный человек. Итак, что же происходит дальше?

В аналогичной ситуации властный руководитель фирмы, оценку которого оспорил новичок, мог бы сказать: «Послушайте, я сделал больше подобных оценок, чем вы съели горячих обедов. Если я говорю, что это работает, значит оно работает». Важный политик в ответ на критику мелкого, но амбициозного функционера мог бы сказать: «Так на чьей же вы стороне?» Даже наш профессор, *вне исследовательского контекста* (скажем, читая лекцию студентам), вполне мог бы свободно ответить: «Сначала научитесь ходить, а уж потом бегайте. Прочтите учебник, а пока не отнимайте время ни у себя, ни у всех нас». Но на исследовательском семинаре такой ответ вызвал бы волну смущения в аудитории. Люди отвели бы глаза и притворились бы, что усердно изучают свои записи. Появились бы ухмылки и косые взгляды. Все были бы шокированы откровенной неуместностью такого подхода. В подобной ситуации взывать к авторитету (по крайней мере, открыто) просто неприемлемо, даже когда самый старший ученый обращается к самому младшему.

Поэтому профессор принимает возражение студента всерьез и приводит краткий, но адекватный довод в защиту оспоренного уравнения. Профессор изо всех сил пытается скрыть свое раздражение критикой из такого неавторитетного источника. Вопросы аудитории *по большей части* будут критическими, и если бы они были обоснованными, то эта критика принизила бы или вообще уничтожила бы ценность работы всей жизни профессора. Но появление сильной и разнообразной критики принятых истин как раз и является одной из задач семинара. Каждый считает само собой разумеющимся, что истина не очевидна, и что очевидное не обязательно является истиной; что идеи следует принять или отвергнуть в соответствии с их содержанием, а не с их происхождением; что величайшие умы вполне могут ошибаться; и что самые тривиальные, на первый взгляд, возражения могут оказаться ключом к новому великому открытию.

Таким образом, участники семинара, пока они заняты наукой, в значительной мере ведут себя в соответствии с научной рациональностью. Но вот семинар заканчивается. Последуем за группой в столовую. Немедленно заявляет о себе нормальное человеческое поведение в обществе. К профессору относятся с почтением, он сидит за столом вместе с людьми, равными ему по положению. Несколько избранных более низкого ранга также получили привилегию сидеть вместе с ним. Беседа переходит на погоду, сплетни или академическую политику. Пока обсуждают эти предметы, снова появляются догматизм и предубеждения, гордость и верность, угрозы и лесть обычных взаимоотношений, свойственных людям в подобных обстоятельствах. Но если случится так, что беседа вернется к теме семинара, ученые мгновенно снова превратятся в ученых. Начинаются поиски объяснений, правят данные и научные доводы, и ранги людей становятся несущественными по ходу спора. Во всяком случае, таков мой опыт в тех областях, где я работал.

Хотя история квантовой теории дает множество примеров иррациональной склонности ученых к тому, что можно было бы назвать парадигмами, было бы сложно найти более наглядный контрпример для куновской теории *последовательности* парадигм. Откры-

тие квантовой теории, несомненно, было концептуальной революцией, возможно, величайшей революцией со времен Галилея, и действительно было несколько «закоснелых» ученых, которые так и не приняли ее. Однако главные фигуры физики, включая почти всех, кого можно считать частью физического истеблишмента, были готовы немедленно отказаться от классической парадигмы. Все быстро признали, что новая теория требует радикального отхода от классической концепции структуры реальности. Спор был лишь о том, какой должна быть новая концепция.

Через некоторое время физик Нильс Бор и его Копенгагенская школа установили новую традицию. Эта новая традиция так и не была принята достаточно широко в качестве *описания реальности*, чтобы ее можно было назвать парадигмой, хотя большинство физиков открыто одобряли ее (Эйнштейн был выдающимся исключением). Удивительно, но она вовсе не была привязана к утверждению о том, что новая квантовая теория истинна. Напротив, эта интерпретация критически зависела от того, что квантовая теория, по крайней мере в ее современной форме, ложна! В соответствии с Копенгагенской интерпретацией уравнения квантовой теории применимы только к ненаблюдаемым аспектам физической реальности. В моменты наблюдения вступает в силу иной процесс, который включает прямое взаимодействие между человеческим сознанием и субатомной физикой. Одно конкретное состояние сознания становится реальным, а остальные остаются лишь возможностями. Копенгагенская интерпретация описала этот предполагаемый процесс только в общих чертах; более полное описание считалось задачей будущего, хотя допускалось и то, что он навсегда останется за пределами человеческого понимания. Что же касается ненаблюдаемых событий, вставленных между сознательными наблюдениями, никому «не позволялось спрашивать» о них! Как физики, даже в расцвет позитивизма и инструментализма, могли принять такую необоснованную конструкцию за ортодоксальную версию фундаментальной теории, остается вопросом для историков. Нам нет необходимости заниматься сокровенными деталями Копенгагенской интерпретации, потому что ее мотивация была направлена главным образом на то, чтобы избежать вывода о многозначной реально-

сти, и уже по одной этой причине эта теория несовместима с любым реальным объяснением квантовых явлений.

Лет через двадцать Хью Эверетт, в то время аспирант в Принстоне, работавший под руководством выдающегося физика Джона Уилера¹, впервые изложил многомировые выводы из квантовой теории. Уилер не принял их. Он был убежден (и до сих пор убежден), что представления Бора, хотя и не отличающиеся полнотой, являются основой правильного объяснения. Но повел ли он себя так, как нам следовало бы ожидать по стереотипу Куна? Попытался ли он подавить еретические идеи своего ученика? Напротив, Уилер опасался, что идеи Эверетта могут недооценить. Поэтому он сам написал небольшую заметку в дополнение к статье, опубликованной Эвереттом, и оба текста появились рядом в журнале *Reviews of Modern Physics*. Статья Уилера так убедительно объясняла и защищала статью Эверетта, что многие читатели предположили, что оба автора несут общую ответственность за излагаемые идеи. Поэтому теорию мультиверса в течение многих следующих лет ошибочно именовали «теорией Эверетта–Уилера», что весьма огорчало последнего.

Проявленная Уилером образцовая верность научной рациональности может быть даже чрезмерной, но она ни в коем случае не уникальна. В этом отношении я должен упомянуть Брайса ДеВитта, еще одного выдающегося физика, который сначала выступал против Эверетта. Между ними случился исторический обмен письмами, когда ДеВитт выдвинул целый ряд детальных технических возражений против теории Эверетта, каждое из которых Эверетт опроверг. ДеВитт завершил свое доказательство на неофициальной ноте, указав, что он просто не может почувствовать, что «расщепляется» на множество отдельных копий всякий раз, когда принимает решение. Ответ Эверетта прозвучал как отголосок

¹ Джон Арчибалд Уилер (1911–2008) — американский физик-теоретик, ученик Нильса Бора, профессор Принстонского университета. Один из создателей теории деления атомного ядра. После войны работал в области общей теории относительности, квантовой гравитации и релятивистской астрофизики. Считается автором терминов «черная дыра», «кратовая нора» и «квантовая пена». — *Прим. ред.*

спора между Галилеем и Инквизицией. «А вы чувствуете, что Земля движется?» — спросил он, и смысл вопроса был в том, что квантовая теория *объясняет, почему* мы не чувствуем этого расщепления, так же как теория инерции Галилея объясняет, почему мы не чувствуем движения Земли. ДеВитт признал свое поражение.

Открытие Эверетта не получило тем не менее широкого признания. К сожалению, большинство физиков из поколения между рождением Копенгагенской интерпретации и Эвереттом отказалось от идеи объяснения в квантовой теории. Как я сказал, это было время расцвета позитивизма в философии науки. Отвержение Копенгагенской интерпретации (или ее непонимание) вместе с тем, что можно было бы назвать *прагматическим инструментализмом*, стало (и остается) типичным отношением физиков к самой глубокой из известных теории реальности. Если инструментализм — это доктрина о бессмысленности объяснений, поскольку теория — это всего лишь «инструмент» для предсказаний, прагматический инструментализм — это практика использования научных теорий без знания их смысла и без желания его знать. В этом отношении подтвердился пессимизм Куна в отношении научной рациональности, однако отнюдь не подтвердилась история Куна о том, как новые парадигмы замещают старые. В некотором смысле прагматический инструментализм сам стал «парадигмой», которую физики приняли, чтобы заместить классическую идею объективной реальности. Но это не та парадигма, на основе которой человек понимает мир! В любом случае, что бы еще ни делали физики, они уже не смотрели на мир через парадигму классической физики, которая, кроме всего прочего, являла собой объективный реализм и детерминизм в миниатюре. Большинство физиков отказались от этой парадигмы, как только была предложена квантовая теория, несмотря на то что первая властвовала над всей наукой и была неоспорима с тех пор, как Галилей 300 лет назад победил в интеллектуальном споре с Инквизицией.

Прагматический инструментализм сгодился только потому, что в большинстве разделов физики квантовая теория не применяется в своей объяснительной способности. Она используется только косвенно, при проверке других теорий, и необходимы только ее предсказания. Таким образом, физики из поколения в поколение счи-

тали достаточным рассматривать интерференционные процессы, например, такие, которые происходят за тысячетриллионную долю секунды, когда сталкиваются две элементарные частицы, как «черный ящик»: они готовят ситуацию на входе и наблюдают выход. Они используют уравнения квантовой теории для предсказания одного из другого, но никогда не знают, да их это и не волнует, как *получается выход* в результате входа. Однако существует два раздела физики, где подобное отношение невозможно, потому что внутренняя суть квантово-механического объекта составляет весь предмет этих разделов. Этими разделами являются квантовая теория вычисления и квантовая космология (квантовая теория физической реальности как единого целого). В конце концов, плоха была бы та «теория вычисления», которая никогда не обращалась бы к проблемам того, как выходные данные получаются из входных! А что касается квантовой космологии, мы не можем ни подготовить исходное состояние в начале мультиверса, ни измерить выходное в конце, а ее внутренняя суть — это все, что существует. По этой причине абсолютное большинство исследователей в этих двух областях используют квантовую теорию в ее полной форме, в форме мультиверса.

Таким образом, история Эверетта — это действительно история молодого новатора, который оспорил общепринятое мнение и которого в основном игнорировали до тех пор, пока — через десятилетия — его точка зрения постепенно не стала новым общепринятым мнением. Однако основа новшества Эверетта заключалась не в том, чтобы заявить о ложности общепринятой теории, а в том, чтобы заявить о ее истинности! Кормящиеся от науки не просто не были способны думать только на языке своей собственной теории, они отказывались думать на ее языке вообще и использовали ее только как инструмент. Однако они отказались, ничуть не жалея, от предыдущей объяснительной парадигмы, от классической физики, как только появилась теория лучше.

Нечто подобное этому же странному явлению произошло и в трех других теориях, которые обеспечивают основные нити объяснения структуры реальности: в теориях вычисления, эволюции и познания. Во всех этих случаях господствующая ныне теория хотя и определенно вытеснила своего предшественника и других

конкурентов в том смысле, что ее повседневно применяют на практике, но так и не сумела стать новой «парадигмой». Иначе говоря, те, кто работает в этой области, не рассматривают ее как фундаментальное объяснение реальности.

Принцип Тьюринга, к примеру, вряд ли когда-либо всерьез подвергался сомнению как прагматическая истина, по крайней мере, в его слабых формах (например, что универсальный компьютер может воссоздать любую физически возможную среду). Критика Роджера Пенроуза была редким исключением, поскольку и он понимал, что возражение против принципа Тьюринга должно включать выдвижение радикально новых теорий как в физике, так и в эпистемологии, а также некоторых интересных новых допущений относительно биологии. Ни Пенроуз, ни кто-либо другой пока не предложили хоть сколь-нибудь жизнеспособного конкурента принципу Тьюринга, поэтому последний остается господствующей фундаментальной теорией вычисления. Однако утверждение о том, что *искусственный интеллект* в принципе возможен, логично вытекающее из этой господствующей теории, ни в коем случае не принимают как нечто само собой разумеющееся. (Искусственный интеллект — это компьютерная программа, которая обладает свойствами человеческого разума, включая ум, сознание, свободную волю и эмоции, но работает на «железе», отличном от человеческого мозга.) Возможность искусственного интеллекта ожесточенно оспаривают выдающиеся философы (включая, увы, и Поппера), естествоиспытатели и математики, а также по крайней мере один выдающийся ученый в области информатики. Но, видимо, мало кто из оппонентов понимает, что они возражают против признанного фундаментального принципа фундаментальной дисциплины. Они не предлагают альтернативных основ для этой дисциплины, как и Пенроуз. Но это все равно что отрицать возможность нашего путешествия на Марс, не замечая, что наши лучшие теории в области техники и физики утверждают обратное. Таким образом, они нарушают основной принцип рациональности, который состоит в том, что не следует с легкостью отказываться от хороших объяснений.

Но не только оппоненты искусственного интеллекта не сумели включить принцип Тьюринга в свою парадигму. Мало кто вообще

сделал это. Об этом свидетельствует тот факт, что прошло четыре десятилетия после того, как был предложен этот принцип, прежде чем кто-либо начал исследовать его следствия для физики, и еще одно десятилетие, прежде чем открыли квантовое вычисление. Люди принимали и использовали этот принцип прагматическим образом в рамках информатики, но его не рассматривали как неотъемлемую часть всего взгляда на мир.

Эпистемология Поппера во всех практических смыслах стала господствующей теорией природы и роста научного знания. Когда в любой области доходит до правил о том, какие эксперименты будут приняты теоретиками из этой области как «научные доказательства», или уважаемыми научными журналами для публикации, или врачами для выбора между конкурирующими методами лечения, произносятся как раз те слова, которые бы произнес и Поппер: экспериментальная проверка, доступность для критики, теоретическое объяснение и признание того, что процедуры экспериментов подвержены ошибкам. Обычно науку описывают таким образом, что научные теории представляют скорее как смелые предположения, чем как выводы, сделанные из накопленной информации, и разницу между наукой и, скажем, астрологией правильно объясняют на основе проверяемости, а не степени подтверждения. В школьных лабораториях «создание и проверка гипотез» также на повестке дня. От учеников уже не ожидают, что они «научатся с помощью эксперимента» в том смысле, как это было в то время, когда учился я и мои современники — тогда нам давали какое-нибудь устройство и говорили, что с ним делать, но не излагали теорию, которую должны были подтвердить результаты эксперимента. Предполагалось, что мы выведем ее сами.

Эпистемология Поппера, даже являясь в этом смысле господствующей теорией, формирует часть мировоззрения очень немногих людей. Популярность теории Куна о последовательности парадигм — одна из иллюстраций этого. Если говорить серьезно, очень немногие философы соглашались с заявлением Поппера о том, что «проблема индукции» больше не существует, потому что в действительности мы не получаем и не доказываем теории из наблюдений, а вместо этого используем объяснительные предположения и опровержения.

Дело не в том, что многие философы — индуктивисты, или что они имеют серьезные возражения против сделанных Поппером описания и предписаний научного метода, или верят, что научные теории в действительности ненадежны из-за их статуса гипотез. Дело в том, что они не принимают *объяснение* Поппером того, как все это работает. И снова здесь слышен отголосок истории Эверетта. Мнение большинства заключается в том, что существует фундаментальная философская проблема, связанная с методологией Поппера, несмотря на то что наука (везде, где она преуспела) всегда следовала этой методологии. Еретическое новшество Поппера принимает форму утверждения, что эта методология всегда была обоснованной.

Теория эволюции Дарвина также является господствующей теорией в своей области в том смысле, что никто всерьез не сомневается, что эволюция через естественный отбор, действующий на популяциях со случайными вариациями, — это «происхождение видов» и, в общем, механизм биологической адаптации. Ни один серьезный биолог или философ не приписывает ныне происхождение видов божественному творению или эволюции Ламарка. (Ламаркизм, эволюционная теория, которую вытеснил дарвинизм, был аналогом индуктивизма. Эта теория приписывала биологические адаптации наследованию характеристик, к которым организм стремился и которые он приобрел за всю свою жизнь.) Однако, как и в случае с тремя другими основными нитями, многочисленны и широко распространены возражения чистому дарвинизму как *объяснению* явлений в биосфере. Один класс возражений сосредоточивается на вопросе, было ли в истории биосферы достаточно времени для развития такой колоссальной сложности путем одного лишь естественного отбора. В обоснование подобных возражений не было выдвинуто ни одной жизнеспособной конкурирующей теории, кроме, вероятно, одной идеи (недавними защитниками которой были астрономы Фред Хойл и Чандра Викрамасингх¹) о том, что сложные молекулы, на которых основана жизнь,

¹ Налин Чандра Викрамасингх (Nalin Chandra Wickramasinghe, род. 1939) — британский математик, астроном и астробиолог шриланкийского происхождения, видный сторонник теории панспермии. — *Прим. ред.*

зародились в открытом космосе. Однако цель таких возражений не столько в том, чтобы оспорить дарвиновскую модель, сколько заявить, что нечто фундаментальное остается необъясненным в отношении того, как появились адаптации, наблюдаемые нами в биосфере.

Дарвинизм также критиковали за круг в доказательстве, потому что он говорит о «выживании наиболее приспособленных» как об объяснении, в то время как «наиболее приспособленных» определяет по факту — как тех, кто выжил. С другой стороны, если независимо определить «приспособленность», то идея о том, что эволюция «благоприятствует наиболее приспособленным», по-видимому, противоречит фактам. Например, наиболее интуитивным определением биологической приспособленности была бы «приспособленность вида для выживания в определенной нише» в том смысле, что тигра можно рассматривать как оптимальную машину для занятия именно той экологической ниши, которую занимают тигры. Стандартные контрпримеры «выживанию наиболее приспособленных» в этом смысле — это адаптации, такие как хвост павлина, которые, на первый взгляд, делают организм гораздо *менее* приспособленным для проживания в его нише. Подобные возражения вроде бы подрывают способность теории Дарвина достичь своей первоначальной цели: объяснить, каким образом могли появиться явные признаки «замысла» (т. е. адаптации) в живых организмах через действие «слепых» законов физики над неживой материей без целенаправленного вмешательства Творца.

Новшество Ричарда Докинза, изложенное в его книгах «Эгоистичный ген» (The Selfish Gene) и «Слепой часовщик» (The Blind Watchmaker), вновь состоит в заявлении об истинности господствующей теории. Он заявляет, что ни одно из сегодняшних возражений против «чистой» дарвиновской модели при внимательном изучении не является хоть сколь-нибудь существенным. Другими словами, Докинз заявляет, что теория эволюции Дарвина обеспечивает полное объяснение происхождения биологических адаптаций. Докинз развил теорию Дарвина в ее современной форме как теорию репликаторов. Репликатор, который лучше других добывается своей репликации в данной среде, в конце концов вытеснит все остальные

варианты самого себя, потому что, по определению, они реплицируются хуже. Выживает не наиболее приспособленный вариант *вида* (Дарвин это осознавал не полностью), а наиболее приспособленный вариант *гена*. Одно из следствий этого заключается в том, что иногда некий ген может вытеснить вариантные гены (например, гены менее громоздких хвостов у павлинов) средствами (такими как половой отбор), которые не обязательно обеспечивают благополучие всего вида или его отдельной особи. Но вся эволюция обеспечивает благополучие (т. е. репликацию) генов, реплицируемых наилучшим образом, — отсюда и пошел термин «эгоистичный ген». Докинз объясняет все возражения и показывает, что теория Дарвина при правильной ее интерпретации не имеет ни одного из приписываемых ей недостатков и действительно объясняет происхождение адаптации.

Именно версия дарвинизма от Докинза стала господствующей теорией эволюции в практическом смысле. Однако она по-прежнему никоим образом не является общепринятой *парадигмой*. Многих биологов и философов до сих пор не покидает ощущение, что в этом объяснении есть огромный пробел. Например, в том же смысле, в каком теория «научных революций» Куна оспаривает попперовскую картину науки, соответствующая эволюционная теория оспаривает картину эволюции Докинза. Это теория *прерывистого равновесия*, которая гласит, что эволюция происходит в краткие периоды взрывного развития, которые разделяются длительными периодами изменений без отбора. Возможно, эта теория соответствует фактам. В действительности она не противоречит теории «эгоистичного гена» — не более, чем эпистемологии Поппера противоречит утверждение о том, что концептуальные революции не происходят ежедневно или что ученые часто сопротивляются фундаментальным новшествам. Но как и в случае с теорией Куна, способ представления теории прерывистого равновесия и других вариантов сценариев эволюции как решающих некоторую проблему, которую якобы пропустила господствующая теория эволюции, раскрывает ту степень, в которой нам еще предстоит усвоить объяснительную силу теории Докинза.

Для всех четырех нитей имеется очень неудачное следствие неприятия господствующей теории в качестве объяснения, притом

что серьезных конкурирующих объяснений также не предлагается. Состоит оно в том, что защитники господствующих теорий — Поппер, Тьюринг, Эверетт, Докинз и их сторонники — все время были вынуждены держать оборону от устаревших теорий. Спор между Поппером и большинством его критиков (как я уже отметил в главах 3 и 7) был главным образом о проблеме индукции. Тьюринг провел последние годы своей жизни, защищая по сути утверждение о том, что человеческий мозг управляется не сверхъестественным путем. Эверетт прекратил научные исследования, перестав продвигаться вперед, и в течение нескольких лет теорию мультиверса почти в одиночку защищал Брайс ДеВитт, пока в 1970-х годах прогресс в квантовой космологии не вынудил ученых из этой области прагматически принять ее. Однако противники теории мультиверса как *объяснения* редко выдвигали конкурирующие объяснения. (Теория Дэвида Бома, о которой я упоминал в главе 4, — исключение.) Вместо этого, как однажды заметил космолог Деннис Сиама¹, происходило следующее: «Когда дело доходит до интерпретации квантовой механики, качество дискуссии внезапно падает до нуля». Защитники теории мультиверса обычно сталкиваются с горячим, вызывающим, но бессвязным призывом к Копенгагенской интерпретации — в которую, однако, сегодня уже вряд ли кто-нибудь верит. И наконец, Докинз каким-то образом стал публичным защитником научной рациональности именно от *креационизма*, а в более общем смысле — от доначного взгляда на мир, который был отвергнут еще Галилеем.

Самое угнетающее во всем этом — то, что, пока защитники наших лучших теорий о структуре реальности вынуждены расточать свою умственную энергию на тщетное опровержение и переопровержение теорий, ложность которых известна уже давно, состояние нашего самого глубокого знания не может улучшиться. И Тьюринг, и Эверетт легко могли бы открыть квантовую теорию вычисления. Поппер мог бы разработать теорию научного объяснения. (Справедливости ради я должен признать, что он действительно понял

¹ Деннис Уильям Сиама (Dennis William Sciama, 1926–1999) — британский физик сирийского происхождения, один из отцов современной космологии. В публикациях, в том числе и научных, встречаются еще три транскрипции его фамилии: Скиама, Скъяма и Шиама. — *Прим. ред.*

и разработал некоторые связи между своей эпистемологией и теорией эволюции.) Докинз мог бы, например, продвигать свою собственную теорию эволюции реплицируемых идей (мемов).

Единая теория структуры реальности, которая и является темой этой книги, на самом прямом уровне является просто комбинацией четырех господствующих фундаментальных теорий о соответствующих им областях. В этом смысле она тоже является «господствующей теорией» для этих четырех областей, рассматриваемых как единое целое. Достаточно широко признаны и некоторые связи между этими четырьмя нитями. Значит, и мой тезис также принимает форму «все-таки господствующая теория истинна!». Я не только защищаю серьезное отношение к каждой из фундаментальных теорий как к объяснению ее собственного предмета, я утверждаю, что все вместе они обеспечивают новый уровень объяснения единой структуры реальности.

Я также утверждал, что ни одну из четырех нитей невозможно понять должным образом, не понимая трех других. Возможно, это и есть ключ к тому, почему сохраняются недоверие ко всем этим господствующим теориям. Все четыре отдельных объяснения имеют общее непривлекательное свойство, которое подвергалось критике как «идеализированное и нереалистичное», «узкое» или «наивное» — а также «холодное», «механистическое» и «бесчеловечное». Я считаю, что в инстинктивном чувстве, которое стоит за подобной критикой, есть некоторая доля истины. Например, из тех, кто отрицает возможность искусственного интеллекта, а по сути отрицает то, что мозг — это физический объект, мало кто действительно пытается только выразить гораздо более разумный критический взгляд: что объяснение вычисления Тьюрингом, по-видимому, не оставляет места, даже в принципе, для любого будущего объяснения на основе физики умственных качеств, таких как сознание и свободная воля. В этом случае для энтузиастов искусственного интеллекта не лучшим вариантом является резкое заявление о том, что принцип Тьюринга гарантирует, что компьютер может сделать все, что может сделать мозг. Это, безусловно, так, однако это ответ на основе предсказания, а проблема заключается в объяснении. Здесь существует *объяснительный пробел*.

Я не думаю, что этот пробел можно заполнить без привлечения трех оставшихся нитей. Сейчас, как я уже сказал, я полагаю, что мозг — это классический, а не квантовый компьютер, поэтому я не жду объяснения сознания как квантово-вычислительного явления некоторого рода. Тем не менее я ожидаю, что объединение вычисления и квантовой физики и, вероятно, более широкое объединение всех четырех нитей будет важным для фундаментального философского прогресса, из которого однажды последует понимание сознания.

Чтобы читатель не счел это парадоксальным, позвольте мне провести аналогию с похожей проблемой из более ранней эпохи: «Что такое жизнь?» Эту проблему решил Дарвин. Смысл решения заключался в идее о том, что сложная и очевидно целенаправленная форма, которую мы наблюдаем в живых организмах, не встроена в реальность *ab initio*¹, но является эмерджентным следствием действия законов физики. Законы физики не управляют формой слонов и павлинов в большей степени, чем это сделал бы Создатель. Они не дают указания на результаты, особенно на эмерджентные результаты; они просто определяют правила, в соответствии с которыми происходит взаимодействие атомов и им подобных объектов.

Эта концепция закона природы как набора законов движения является относительно новой. Я полагаю, что ее можно приписать главным образом Галилею и в какой-то степени Ньютону. В предыдущей концепции закон природы являлся правилом о том, что происходит. Примером служат законы движения планет Иоганна Кеплера, которые описывали, как именно планеты движутся по эллиптическим орбитам. Им можно противопоставить законы Ньютона, которые являются физическими законами в современном смысле. В них нет ни слова об эллипсах, но при соответствующих условиях они воспроизводят (и уточняют) предсказания Кеплера. Никто не смог бы объяснить, что такое жизнь, используя кеплерову концепцию «закона физики», поскольку все искали бы закон, предписывающий существование слонов, так же как законы Кеплера предписывают эллиптические орбиты. Лишь Дарвин смог

¹ С самого начала (лат.). — Прим. ред.

поставить вопрос о том, каким образом законы природы, не упоминавшие о слонах, могли тем не менее породить их — так же как законы Ньютона породили эллипсы. Хотя Дарвин не использовал ни одного конкретного закона Ньютона, его открытие невозможно было бы понять вне того взгляда на мир, который лежит в основе этих законов. Я ожидаю, что ответ на вопрос что такое сознание, будет зависеть от квантовой теории именно в таком смысле. Оно не задействует никаких особых квантово-механических процессов, но будет критически зависеть от квантово-механической, и в особенности от мультиверсной картины мира.

Что я могу привести в обоснование этого? Я уже представил некоторые доказательства в главе 8, где говорил о знании с точки зрения мультиверса. Хотя мы и не знаем, что такое сознание, оно явно тесно связано с ростом и представлением знания в мозге. Поэтому кажется невероятным, что мы сумеем объяснить, что такое сознание как физический процесс, пока не объясним на основе физики само знание. Подобное объяснение было трудно получить в рамках классической теории вычисления. Но, как я уже объяснил, в квантовой теории для этого объяснения есть хорошая основа: знание можно понимать как сложность, которая простирается через множество вселенных.

С сознанием некоторым образом связан еще один ментальный атрибут — свободная воля. Хорошо известно, что свободную волю тоже сложно понять в рамках классической картины мира. Сложность примирения свободной воли с физикой часто приписывают детерминизму, хотя виноват здесь вовсе не он, а (как я объяснил в главе 11) классическое пространство-время. В пространстве-времени *что-то* происходит со мной в каждый конкретный момент моего будущего. Даже если то, что произойдет, непредсказуемо, оно уже находится там, на соответствующем сечении пространства-времени. Не имеет смысла говорить о том, что я могу «изменить» то, что находится на этом сечении. Пространство-время не изменяется, а значит, в рамках физики пространства-времени невозможно понять причины, следствия, открытость будущего или свободную волю.

Таким образом, замена детерминистических законов движения недетерминистическими (случайными) никак не помогла бы ре-

шить проблему свободной воли, пока эти законы остаются классическими. Свобода не имеет ничего общего со случайностью. Мы ценим свою свободную волю как способность выражать в своих действиях то, кем мы являемся как личности. Кто бы стал ценить случайность? То, что мы считаем своими *свободными* действиями, — это не случайные или неопределенные действия, а такие, которые в значительной степени *определены* тем, чем мы являемся, что мы думаем и о чем спор. (Хоть они и являются в значительной степени определенными, на практике они могут быть весьма непредсказуемы по причинам сложности.)

Рассмотрим следующее типичное утверждение с отсылкой к свободной воле: «После тщательного размышления я выбрал сделать X: я мог бы сделать другой выбор; это было правильным решением; у меня хорошо получается принимать такие решения». В рамках любой классической картины мира это утверждение абсолютно бессвязно. В рамках картины мультиверса оно имеет прямое физическое представление, показанное в таблице 13.1. (Я не предлагаю *определять* моральные или эстетические ценности на основе таких представлений; я просто отмечаю, что благодаря мультиверсному характеру квантовой реальности свободная воля и связанные с ней концепции теперь совместимы с физикой.)

Таблица 13.1 Физические представления некоторых утверждений, относящихся к свободной воле

После тщательного размышления я выбрал сделать X	После тщательного размышления некоторые копии меня, включая ту, которая говорит, выбрали сделать X
Я мог бы сделать другой выбор	Другие копии меня сделали другой выбор
Это было правильным решением	Проявления моральных или эстетических ценностей, которые отражены в моем выборе варианта X, повторяются в мультиверсе гораздо более часто, чем проявления конкурирующих ценностей
У меня хорошо получается принимать такие решения	Те копии меня, которые выбрали X и в других подобных ситуациях делают правильный выбор, численно превосходят все остальные копии

В таком варианте тьюрингова концепция вычисления выглядит менее отвлеченной от человеческих ценностей и не является препятствием пониманию человеческих качеств, подобных свободной воле, при условии, что она понимается в контексте мультиверса. Тот же самый пример реабилитирует и саму теорию Эверетта. На первый взгляд ценой понимания явления интерференции является создание или углубление множества философских проблем. Но здесь, и во многих других примерах, которые я привел в этой книге, мы видим, что происходит как раз обратное. Плодотворность теории мультиверса при решении издавна существующих философских проблем так высока, что эту теорию стоило бы принять даже при полном отсутствии ее физических доказательств. В самом деле, философ Дэвид Льюис¹ в своей книге «О множественности миров» (*On the Plurality of Worlds*) постулировал существование мультиверса, исходя исключительно из философских причин.

Вновь обращаясь к теории эволюции, я точно так же могу признать долю смысла у тех, кто критикует теорию эволюции Дарвина на основе того, что кажется «невероятным», чтобы такие сложные адаптации могли развиваться за данный промежуток времени. Один из критиков Докинза хочет, чтобы биосфера удивляла нас так же, как удивило бы нас, если куча запасных частей, брошенных по отдельности, легли бы в форме Боинга-747. На первый взгляд такая критика проталкивает аналогию между миллиардами лет проб и ошибок, имевших место на всей планете, с одной стороны, и мгновенным событием «случайного совместного падения», с другой. Разумеется, при этом намеренно отбрасывается вся логика эволюционного объяснения. Тем не менее является ли диаметрально противоположная позиция Докинза полностью адекватной как объяснение? Докинз хочет, чтобы мы *не удивлялись* тому, что сложные адаптации появились спонтанно. Другими словами, он заявляет, что его теория «эгоистичного гена» есть полное объ-

¹ Дэвид Келлогг Льюис (David Kellogg Lewis, 1941–2001) — влиятельный американский философ, занимавшийся философией языка и сознания, эпистемологией и философской логикой. Постулировал существование изолированных друг от друга возможных миров. — *Прим. ред.*

яснение — конечно, не конкретных адаптаций, но возможности появления таких сложных адаптаций.

Однако это объяснение не является полным. Существует объяснительный пробел, и на этот раз мы уже знаем гораздо больше о том, каким образом другие нити могли бы заполнить этот пробел. Мы уже видели, что сам факт того, что физические переменные могут хранить информацию, что они могут взаимодействовать друг с другом для передачи и репликации этой информации, и что подобные процессы устойчивы, полностью зависит от деталей квантовой теории. Более того, мы видели, что существование высокоадаптированных репликаторов зависит от физической осуществимости создания виртуальной реальности и ее универсальности, что, в свою очередь, можно понимать как следствие глубокого принципа, принципа Тьюринга, который связывает физику и теорию вычислений и вовсе не содержит явной отсылки к репликаторам, эволюции или биологии.

Аналогичный пробел существует и в эпистемологии Поппера. Его критики удивляются, почему работает научный метод или что оправдывает опору на лучшие научные теории. Это приводит их к страстному желанию принципа индукции или чего-то подобного (хотя, будучи криптоиндуктивистами, они обычно осознают, что такой принцип также ничего не объяснил бы и не оправдал). Для последователей Поппера ответить, что не существует такой вещи, как оправдание, или что полагаться на теории не рационально, — все равно что обеспечить объяснение. Поппер даже сказал, что «никакая теория познания не должна пытаться объяснить, почему нам удастся что-то успешно объяснить» («Объективное знание»). Но как только мы понимаем, что рост человеческого знания — это физический процесс, мы видим, что нельзя объявить недозволенной попытку объяснить, как и почему он происходит. Эпистемология — это теория (эмерджентной) физики. Это основанная на фактах теория об обстоятельствах, при которых растет или не растет определенная физическая величина (знание). Голые утверждения этой теории широко принимаются. Но мы, по-видимому, не в состоянии найти объяснение их истинности исключительно в рамках теории познания *как таковой*. В этом узком смысле Поппер был

прав. Объяснение должно включать квантовую физику, принцип Тьюринга и, как отмечал сам Поппер, теорию эволюции.

В каждом из четырех случаев защитники господствующей теории постоянно находятся в оборонительной позиции, отражая занудную критику этих объяснительных пробелов. Это часто вынуждает их возвращаться к сути своего собственного направления. «На том стою и не могу иначе», — это их конечный ответ, так как они полагаются на самоочевидную нелогичность отказа от непревзойденной фундаментальной теории в их собственной конкретной области. Из-за этого они кажутся критикам еще более ограниченными, и это порождает пессимизм относительно самой возможности более фундаментального объяснения.

Несмотря на все оговорки, которые я привожу в пользу критиков центральных теорий, история всех четырех нитей показывает, что в течение большей части XX века с фундаментальной наукой и философией происходило нечто очень неприятное. Популярность позитивизма инструменталистского взгляда на науку была связана с апатией, потерей уверенности в себе и пессимизмом относительно истинных объяснений в такое время, когда престиж, полезность, а также финансирование фундаментальных исследований были выше, чем когда-либо. Конечно, было много отдельных исключений, включая четверых героев этой главы. Но беспрецедентная картина одновременного принятия и игнорирования их теорий говорит сама за себя. Я не претендую на то, что имею полное объяснение этого явления, но что бы его ни вызвало, кажется, сейчас мы освобождаемся от него.

Я указал на одну причину, которая могла поспособствовать этому, а именно: по отдельности все четыре теории содержат объяснительные пробелы, из-за которых они могут показаться ограниченными, бесчеловечными и пессимистичными. Но я считаю, что, если рассматривать их совместно, как единое объяснение структуры реальности, этот недостаток обращается в достоинство. Далекое от отрицания свободной воли, далекое от помещения человеческих ценностей в контекст, где они становятся тривиальными и несущественными, далекое от пессимизма, это фундаментально оптимистичное мировоззрение помещает человеческий разум в центр

физической вселенной, а объяснение и понимание — в центр человеческих устремлений. Я надеюсь, что нам не придется потратить слишком много времени, чтобы, оглядываясь назад, защитить этот единый взгляд от несуществующих конкурентов. В конкурентах не будет недостатка, когда, всерьез приняв единую теорию структуры реальности, мы начнем развивать ее. Пора двигаться дальше.

Терминология

Парадигма — набор идей, на основе которого его приверженцы наблюдают и объясняют все, что происходит в их опыте.

Согласно Томасу Куну, приверженность парадигме делает человека слепым к достоинствам другой парадигмы и мешает ему перейти от одной парадигмы к другой. Невозможно понять две парадигмы одновременно.

Копенгагенская интерпретация квантовой механики — идея, позволяющая как можно легче уклониться от следствий квантовой теории для природы реальности. Считается, что в моменты наблюдения результат в одной из вселенных становится реальным, а все другие вселенные — даже те, которые внесли в этот результат свой вклад — никогда не существовали. В соответствии с этим взглядом непозволительно спрашивать о том, что происходит в реальности между сознательными наблюдениями.

Резюме

Интеллектуальные истории фундаментальных теорий четырех нитей содержат замечательные параллели. Все четыре нити были одновременно приняты (для практического использования) и проигнорированы (как объяснения реальности). Одна из причин этого заключается в том, что по отдельности каждая из этих теорий содержит объяснительные пробелы и кажется холодной и пессимистичной. Основывать мировоззрение на любой из них в отдельности — значит быть в обобщенном смысле редуccionистом. Но если рассмотреть их вместе, как единое объяснение структуры реальности, все тут же изменяется.

Так что же дальше?

Конец вселенной

Хотя история не имеет смысла,
мы можем придать ей смысл.

Карл Поппер.

Открытое общество и его враги

Когда в ходе моих исследований основ квантовой теории я впервые осознал связи между квантовой физикой, вычислением и эпистемологией, я рассматривал их как свидетельство исторической тенденции физики поглощать предметы, которые до этого казались никоим образом с ней не связанными. Астрономия, например, получила связь с земной физикой через законы Ньютона, и за следующие несколько веков большая ее часть была поглощена, превратившись в астрофизику. Химию начали относить к физике после открытий Фарадея в области электрохимии, а квантовая теория сделала значительную часть основ химии прямо предсказуемой из одних лишь законов физики. Общая теория относительности Эйнштейна поглотила геометрию и избавила как космологию, так и теорию времени от их прежде чисто философского статуса, превратив их в полноценные разделы физики. Недавно, как я уже отметил, теория путешествия во времени тоже примкнула к физике.

Таким образом, будущие перспективы поглощения квантовой физикой не только теории вычисления, но и *теории доказательства* (у которой есть альтернативное название «мета-математика»), представлялись мне свидетельством двух тенденций. Первая тен-

денция состояла в том, что человеческое знание в целом продолжает обретать единую структуру, которой оно должно обладать, если оно является понятным в сильном смысле, на что я надеюсь. И вторая тенденция — в том, что сама единая структура должна состоять из непрерывно углубляющейся и расширяющейся теории фундаментальной физики.

Читатель должен знать, что мое мнение насчет второй тенденции изменилось. Характер структуры реальности, которую я предлагаю сейчас, определяется не только фундаментальной физикой. Например, квантовая теория вычисления не была создана только лишь путем выведения принципов вычисления из квантовой физики. Она включает принцип Тьюринга, который уже был, под названием *гипотезы* Чёрча–Тьюринга, основой теории вычисления. Его никогда не использовали в физике, но я утверждал, что его можно должным образом понять только как физический принцип. Он находится на одном уровне с принципом сохранения энергии и другими законами термодинамики, то есть он является ограничением, которому, насколько нам известно, подчиняются все остальные теории. Но, в отличие от существующих законов физики, он имеет эмерджентный характер и ссылается непосредственно на свойства сложных машин и только вследствие этого — субатомных объектов и процессов. (Можно утверждать, что второе начало термодинамики — принцип увеличения энтропии — тоже имеет эту форму.)

Точно так же, если мы понимаем *знание* и *адаптацию* как структуру, которая простирается через множество вселенных, то мы ожидаем, что принципы эпистемологии и эволюции можно прямо выразить в виде законов о структуре мультиверса. Иначе говоря, они являются физическими законами, но на эмерджентном уровне. Конечно, квантовая теория сложности еще не достигла того уровня, где она может выразить в физической форме утверждение о том, что знание может расти только в ситуациях, соответствующих модели Поппера, показанной на рис. 3.3. Однако появления утверждения именно такого рода я ожидаю в нарождающейся Теории Всего, единой объяснительной и предсказательной теории всех четырех нитей.

При таком положении вещей мнение о том, что квантовая физика поглощает другие направления, следует рассматривать как ограниченный взгляд физиков, возможно, испорченный редукционизмом. Действительно, каждая из трех оставшихся нитей достаточно богата, чтобы сформировать цельную основу взгляда на мир некоторых людей почти так же, как фундаментальная физика формирует основу мировоззрения редукционистов. Ричард Докинз считает, что «если высшие создания из космоса когда-либо посетят Землю, их первым вопросом для оценки уровня нашей цивилизации будет: “Они уже открыли эволюцию?”». Многие философы согласны с Рене Декартом, что эпистемология лежит в основе всего остального знания и что нечто подобное аргументу Декарта *cogito ergo sum*¹ является нашим самым основным объяснением. Многие специалисты по информатике были так поражены недавно открытыми связями между физикой и вычислением, что сделали вывод, что вселенная — это компьютер, а законы физики — программы, которые выполняются на этом компьютере. Но все это ограниченные и даже вводящие в заблуждение взгляды на истинную структуру реальности. Объективно новый синтез имеет свой собственный характер, который существенно отличается от характера любой из четырех объединяемых им нитей.

Например, я уже отметил, что фундаментальные теории каждой из четырех нитей подвергались критике, отчасти справедливой, за их «наивность», «ограниченность», «холодность» и т. д. Поэтому с точки зрения физика-редукциониста, подобного Стивену Хокингу², человеческая раса — это всего лишь астрофизически неважный «химический мусор». Стивен Вайнберг полагает, что «чем бо-

¹ «Я мыслю — значит, я существую» (лат.). — Прим. ред.

² Стивен Уильям Хокинг (род. 1942) — всемирно известный британский физик-теоретик и космолог, создатель и руководитель Центра теоретической космологии в Кембриджском университете. Изучал теорию гравитационной сингулярности и применение термодинамики к свойствам черных дыр, предложил вариант космологии на базе общей теории относительности и квантовой механики. Автор нескольких научно-популярных книг, в том числе «Краткая история времени» (A Brief History of Time). В течение многих лет из-за тяжелой болезни не способен самостоятельно передвигаться и говорить. — Прим. ред.

лее понятной кажется вселенная, тем более бессмысленной она кажется. Но если в плодах нашего исследования нет утешения, то, по крайней мере, некоторая доля утешения есть в самом исследовании («Первые три минуты»). Но любой, кто не связан с фундаментальной физикой, должен заинтересоваться, почему это происходит.

Что касается вычисления, специалист по вычислительной технике Томмазо Тоффоли заметил, что «мы никогда не выполняем вычисление самостоятельно, мы просто пользуемся великим Вычислением, которое уже происходит». Для него это не вопль отчаяния — совсем наоборот. Однако критики мировоззрения, основанного на теории вычислительных систем, не хотят видеть себя в виде чьей-то программы, работающей на чем-то компьютере. Теория эволюции, понимаемая в узком смысле, рассматривает нас как простые «машины» для репликации наших генов или мемов и отказывается отвечать на вопрос о том, почему эволюция стремится создавать все большую адаптивную сложность, или на вопрос о роли, которую такая сложность играет в более широкой схеме вещей. Подобным образом (крипто) индуктивистская критика эпистемологии Поппера заключается в том, что, формулируя условия роста научного знания, она не объясняет, *почему* это знание растет — почему она создает теории, достойные использования.

Как я уже объяснил, в каждом случае защита зависит от представленных объяснений других нитей. Мы не *просто* «химический мусор», потому что, например, макроскопическое поведение нашей планеты, звезды и галактики зависит от эмерджентной, но фундаментальной физической величины: *знания* в этом мусоре. Создание полезного знания в процессе науки, адаптации в процессе эволюции следует понимать как проявление самоподобности, предписанной физическим принципом — принципом Тьюринга. И так далее.

Таким образом, проблема принятия одной из этих фундаментальных теорий за основу мировоззрения состоит в том, что каждая из них является редукционистской в широком смысле этого слова. Иначе говоря, они обладают монолитной объяснительной структурой, в которой из нескольких чрезвычайно глубоких идей следует все остальное. Но это оставляет аспекты самого предмета полностью необъясненными. Напротив, объяснительная структура,

которую они *совместно* предоставляют для структуры реальности, не является иерархической: каждая из четырех нитей содержит принципы, которые являются «эмерджентными» с точки зрения трех других, но тем не менее помогают объяснить их.

Нам кажется, что три нити из четырех исключают людей с их ценностями из фундаментального уровня объяснения. Четвертая нить, эпистемология, выдвигает знание на передний план, но не дает причины рассматривать саму эпистемологию как имеющую значимость за пределами психологии нашего вида. Знание представляется ограниченной, парохильной концепцией, пока мы не рассматриваем его с перспективы мультиверса. Но если знание обладает фундаментальной важностью, мы можем спросить, какая же роль в единой структуре реальности кажется естественной для существ, создающих знание, таких, как мы сами. Этот вопрос изучил космолог Фрэнк Типлер. Его ответ, *теория омега-точки*¹ — отличный пример теории, которая, в духе нашей книги, является теорией о структуре реальности в целом. Она не укладывается в рамки ни одной из нитей, но принадлежит всем четырем. К сожалению, сам Типлер в книге «Физика бессмертия» (*The Physics of Immortality*) сделал ряд гипертрофированных заявлений касательно своей теории, из-за которых большинство ученых и философов сразу же отвергло ее, тем самым упустив ценную основную идею, которую я сейчас объясню.

С моей точки зрения, простейшая точка входа в теорию омега-точки — это принцип Тьюринга. Универсальный генератор виртуальной реальности физически возможен. Такая машина способна воспроизвести как любую физически возможную среду, так и определенные гипотетические и абстрактные сущности с любой желаемой точностью. Следовательно, его компьютер имеет потенциально неограниченное требование дополнительной памяти и может выполнить неограниченное количество шагов. Это было тривиально — встроить в классическую теорию вычисления, пока универсальный компьютер считался абстракцией в чистом виде.

¹ В другом варианте перевода — теория точки Омега. Сам термин «точка Омега» введен Пьером Тейяром де Шарденом. — *Прим. ред.*

Тьюринг просто постулировал бесконечно длинную ленту памяти (с самоочевидными, на его взгляд, свойствами), совершенно точный процессор, не требующий ни мощности, ни обслуживания, и неограниченное время. В том, чтобы сделать эту модель более реалистичной, разрешив периодическое обслуживание, нет принципиальной проблемы, но три остальных требования — неограниченная емкость памяти, неограниченное время обработки и энергоснабжение — проблематичны в свете существующей космологической теории. В некоторых современных космологических моделях вселенная через конечное время испытывает повторный коллапс в виде Большого сжатия и является пространственно конечной. В них вселенная имеет геометрию гиперсферы, трехмерного аналога двумерной поверхности сферы. На первый взгляд, такая космология накладывает конечный предел как на емкость памяти, так и на количество шагов обработки, которые машина смогла бы осуществить до конца вселенной. Это делает универсальный компьютер физически невозможным, и принцип Тьюринга нарушается. В других космологических моделях вселенная продолжает вечно расширяться и является пространственно бесконечной, что как будто может предоставить неограниченный источник материала для создания дополнительной памяти. К сожалению, в большинстве подобных моделей плотность энергии, доступной для питания компьютера, уменьшается с расширением вселенной, и ее приходится собирать со все большей площади. Из-за того, что физика налагает на скорость абсолютный предел — скорость света, — доступ к памяти компьютера будет замедляться, и в конечном итоге мы снова приходим к тому, что можно выполнить только конечное число шагов вычисления.

Ключевое открытие теории омега-точки — это открытие класса космологических моделей, в которых, несмотря на конечность вселенной как в пространстве, так и во времени, емкость памяти, количество возможных шагов вычисления и эффективное снабжение энергией не имеют ограничений. Эта кажущаяся невозможность может произойти из-за исключительных условий в последние моменты коллапса вселенной в Большом сжатии. Сингулярности пространства-времени, подобные Большому взрыву и Большому сжа-

тию, редко бывают спокойными местами, но этот момент должен быть гораздо хуже прочих. Изменится форма вселенной — из гиперсферы она превратится в трехмерный аналог поверхности эллипсоида. Степень деформации увеличится, потом уменьшится, а потом увеличится еще быстрее, но по отношению к другой оси. Как амплитуда, так и частота этих осцилляций будет безгранично увеличиваться по мере приближения к конечной сингулярности, так что произойдет буквально бесконечное количество осцилляций, при том что конец наступит за конечное время. Материя, какой мы знаем ее, не выживет: все вещество, и даже сами атомы, будет разорвано гравитационными силами сдвига, вызванными деформированным пространством-временем. Однако эти силы сдвига также обеспечат неограниченный источник доступной энергии, который в принципе можно будет использовать для питания компьютера. Но как в таких условиях может существовать компьютер? Единственным «материалом», который останется для создания компьютеров, будут элементарные частицы и сама гравитация, предположительно в каких-то в высшей степени экзотических квантовых состояниях, существование которых мы (все еще не имея адекватной теории квантовой гравитации) сейчас не можем ни подтвердить, ни отвергнуть. (Вопрос об их экспериментальном наблюдении, конечно, не стоит.) Если подходящие состояния частиц и гравитационного поля существуют, то они также обеспечат неограниченную емкость памяти, и вселенная будет сжиматься так быстро, что бесконечное количество доступов к памяти станет осуществимым за конечное время до конца вселенной. Конечную точку гравитационного коллапса, Большое сжатие этой космологии, Типлер называет омега-точкой.

Итак, принцип Тьюринга означает, что не существует верхней границы количества физически возможных вычислительных шагов. Таким образом, при условии, что космология омега-точки — это (при правдоподобных допущениях) единственный тип космологии, при котором может произойти бесконечное количество шагов вычисления, мы должны заключить, что наше действительное пространство-время должно иметь форму омега-точки. Поскольку все вычисление прекратится, как только не останется переменных,

способных переносить информацию, мы можем сделать вывод, что необходимые физические переменные (возможно, квантово-гравитационные переменные) действительно существуют вплоть до омега-точки.

Скептик мог бы сказать, что рассуждение такого рода содержит серьезную и неоправданную экстраполяцию. У нас есть опыт «универсальных» компьютеров только в самой благоприятной среде, которая даже отдаленно не напоминает конечные стадии вселенной. И у нас есть опыт выполнения на этих компьютерах только конечного числа шагов вычисления при использовании только конечного объема памяти. Как может быть обоснована экстраполяция от этих конечных чисел к бесконечности? Другими словами, как мы можем знать, что принцип Тьюринга в его сильной форме строго истинен? Какие существуют доказательства того, что реальность обеспечивает нечто большее, чем *приблизительная* универсальность?

Конечно, этот скептик — индуктивист. Более того, точно такой тип мышления (как я доказал в предыдущей главе) мешает нам понять и усовершенствовать наши лучшие теории. Что является «экстраполяцией», а что нет, зависит от того, с какой *теории* начинают. Если начать с какой-то неопределенной, но ограниченной концепции того, что является «нормальным» в возможностях вычисления, концепции, не подкрепленной лучшими из имеющихся объяснений этого предмета, то *любое* применение этой теории вне знакомых условий будет рассматриваться как «неоправданная экстраполяция». Но если начать с объяснений лучшей из доступных фундаментальных теорий, то сама идея о том, что в чрезвычайных ситуациях остается в силе некая призрачная «нормальность», будет неоправданной экстраполяцией. Чтобы понять наши лучшие теории, мы должны всерьез принимать их как объяснения реальности, а не рассматривать их как простые обобщения существующих наблюдений.

Принцип Тьюринга — это наша лучшая теория основ вычисления. Конечно, нам известно лишь конечное количество примеров, которые его подтверждают — но это верно для любой научной теории. Остается и всегда будет оставаться логическая возможность того, что универсальность может быть только *приблизительной*.

Однако не существует конкурирующей теории вычисления, которая заявляла бы это. И на то есть хорошая причина, ибо «принцип приблизительной универсальности» не имел бы объяснительной силы. Если, к примеру, мы хотим понять, почему мир *кажется* понятным, объяснение могло бы заключаться в том, что мир *является* понятным. Такое объяснение можно согласовать с другими объяснениями из других областей (на самом деле так и происходит). Но теория о том, что мир понятен *наполовину*, ничего не объясняет, и ее, по-видимому, невозможно согласовать с объяснениями из других областей, если только *они* не объяснят *ее*. Такая теория просто дает новую формулировку проблемы и вводит необъясненную константу «наполовину». Короче, допущение, что принцип Тьюринга в полной форме остается в силе в конце вселенной, оправдано тем, что любое другое допущение портит хорошие объяснения того, что происходит здесь и сейчас.

Но оказывается, что тип осцилляции пространства, который приводит к омега-точке, в высшей степени неустойчив (наподобие классического хаоса) и исключительно силен. Сила и неустойчивость этих осцилляций неограниченно увеличиваются по мере приближения омега-точки. Любое небольшое отклонение от правильной формы будет быстро увеличено до такой степени, что условия продолжения вычисления будут нарушены, так что Большое сжатие произойдет после конечного количества вычислительных шагов. Следовательно, чтобы удовлетворить принципу Тьюринга и достичь омега-точки, вселенную следует постоянно «направлять» на правильные траектории. Типлер в принципе показал, как это можно сделать, манипулируя гравитационным полем над всем пространством. Предположительно (нам опять же нужна квантовая теория гравитации, чтобы убедиться в этом) технологию, используемую для стабилизации механизмов и хранения информации, придется постоянно совершенствовать — в действительности совершенствовать бесконечное число раз, — по мере того как плотность и напряжения будут расти все более и более, беспредельно. Это требует непрерывного создания нового знания, которое, как гласит эпистемология Поппера, требует присутствия рациональной критики, а потому — разумных существ. Таким образом, из принципа

Тьюринга и некоторых других независимо подтверждаемых допущений мы пришли к выводу, что разум выживет и что знание будет непрерывно создаваться до конца вселенной.

Процедуры стабилизации и сопровождающие их процессы создания знания должны будут постоянно ускоряться, пока в конечном безумии в конечное время не произойдет бесконечное количество того и другого. Мы не знаем такой причины, по которой не должно существовать физических ресурсов осуществления этого, но можно поинтересоваться, почему обитатели должны будут приложить такие усилия. Почему они должны продолжать столь аккуратно направлять гравитационные осцилляции во время, скажем, последней секунды вселенной? Если вам осталось жить всего одну секунду, почему бы, наконец, просто не откинуться на спинку стула и не отнестись ко всему этому спокойно? Но это, конечно, неправильное представление ситуации. Вряд ли можно было бы придумать в большей степени неправильное представление. Дело в том, что разум этих людей будет работать, как компьютерная программа в компьютерах с безгранично увеличивающейся физической скоростью. Их мысли так же, как и наши, будут результатами виртуальной реальности, полученными этими компьютерами. Действительно, в конце этой последней секунды весь сложный механизм будет разрушен. Но мы знаем, что субъективная длительность ощущения виртуальной реальности определяется не временем от начала работы, а вычислениями, выполненными за это время. В бесконечном количестве этапов вычисления есть время для бесконечного количества мыслей — предостаточно времени для тех, кто мыслит, чтобы поместить себя в любую виртуальную среду, которая им понравится, и ощущать ее столько, сколько им этого захочется. Устав от нее, они могут переключиться на любую другую среду или на любое количество других сред, которое они позаботятся создать. Субъективно они окажутся не на конечных стадиях своей жизни, а на самых начальных. Они не будут спешить, ибо субъективно они будут жить вечно. Когда останется одна секунда или одна микросекунда, они тем не менее будут иметь «всё время в мире», чтобы сделать больше, испытать больше, создать больше — бесконечно больше, — чем кто-либо в мультиверсе сде-

лал до этого времени. Поэтому у них есть множество стимулов уделить внимание управлению своими ресурсами. Занимаясь этим, они просто подготавливают свое собственное будущее, открытое, бесконечное будущее, которое они будут полностью контролировать и в которое в любой заданный момент времени они будут лишь вступать.

Мы можем надеяться, что разум в омега-точке будет состоять из наших потомков. Точнее говоря, из наших *интеллектуальных* потомков, поскольку наши нынешние физические формы не смогли бы выжить вблизи омега-точки. На некоторой стадии человеческим существам придется перевести компьютерные программы, которыми является их разум, в более прочное «железо». На самом деле в конечном итоге это придется сделать бесконечное количество раз.

Механика «направления» вселенной к омега-точке требует осуществления определенных действий во всем пространстве. Следовательно, разум должен будет вовремя распространиться по всей вселенной, чтобы сделать первые необходимые настройки. Это один из ряда контрольных сроков, которым, как показал Типлер, нам придется удовлетворить — и он также показал, что удовлетворить любому из них с точки зрения нашего настоящего знания физически возможно. Первый срок (как я отметил в главе 8) наступит примерно через пять миллиардов лет от сегодняшнего момента, когда Солнце, если оставить его на произвол судьбы, станет красной гигантской звездой и сотрет нас с лица земли. До этого момента мы должны научиться управлять Солнцем или покинуть Солнечную систему. Затем мы должны заселить нашу галактику, потом местное скопление галактик, а потом и всю вселенную. Мы должны делать все это достаточно быстро, чтобы удовлетворить соответствующему сроку, но мы не должны продвигаться вперед так быстро, что израсходуем все необходимые ресурсы прежде, чем создадим новый уровень технологии.

Я говорю, что «мы должны» делать все это, однако это всего лишь допущение, что именно мы будем предками разума, который будет существовать в омега-точке. Нам не нужно играть эту роль, если мы не хотим этого. Если мы решим не играть ее, но принцип

Тьюринга все же верен, то мы можем быть уверены, что ее сыграет кто-то другой (предположительно какой-то внеземной разум).

Тем временем в параллельных вселенных наши двойники делают тот же самый выбор. Преуспеют ли все они? Другими словами, *обязательно* ли кто-то преуспеет в создании омега-точки в нашей вселенной? Это зависит от одной тонкой детали принципа Тьюринга. Он гласит, что универсальный компьютер физически возможен, а «возможный» обычно означает «действительный в этой или какой-то другой вселенной». Требуется ли принцип, чтобы универсальный компьютер был построен во всех вселенных, или только в некоторых, или, может быть, «в большинстве»? Мы еще недостаточно хорошо понимаем этот принцип, чтобы сделать вывод. Некоторые принципы физики, например, принцип сохранения энергии, остаются в силе только в группе вселенных, а в отдельных вселенных при некоторых обстоятельствах могут нарушаться. Другие принципы, например, принцип сохранения заряда, остаются в силе строго в каждой вселенной. Две самые простые формы принципа Тьюринга были бы следующими:

- 1) универсальный компьютер существует во *всех* вселенных; или
- 2) универсальный компьютер существует *по крайней мере в некоторых* вселенных.

Версия «во всех вселенных» представляется слишком сильной, чтобы выразить интуитивную идею о том, что такой компьютер физически *возможен*. Но версия «по крайней мере в некоторых вселенных» кажется слишком слабой, поскольку ясно, что если универсальность остается в силе только в очень немногих вселенных, то она теряет свою объяснительную силу. Наконец, версия «в большинстве вселенных» потребовала бы, чтобы принцип точно определил их конкретное процентное соотношение, скажем, 85%, что кажется весьма невероятным. (Есть такое предположение, что в физике не существует «естественных» констант, кроме нуля, единицы и бесконечности.) Следовательно, в действительности Типлер отдает предпочтение версии «всех вселенных»,

и я согласен, что это самый естественный выбор при том немногом, что нам известно.

Это все, что имеет сказать теория омега-точки — или, скорее, ее научная составляющая, которую я защищаю. Можно прийти к тому же выводу, начав с нескольких других отправных точек в трех из четырех нитей. Одной из них является эпистемологический принцип, утверждающий, что *реальность понятна*. Этот принцип также является независимо доказуемым постольку, поскольку он лежит в основе эпистемологии Поппера. Но его существующие формулировки слишком размыты, чтобы из них можно было сделать безоговорочные выводы, скажем, о безграничности физических представлений знания. Поэтому я предпочитаю не постулировать этот принцип непосредственно, а вывести его из принципа Тьюринга. (Это еще один пример большей объяснительной силы, которая становится доступной при рассмотрении четырех нитей как единой фундаментальной концепции.) Сам Типлер полагается или на постулат о том, что жизнь будет длиться вечно, или на постулат о том, что обработка информации будет длиться вечно. С нашей настоящей точки зрения ни один из этих постулатов не кажется фундаментальным. Преимущество принципа Тьюринга состоит в том, что его уже по причинам, достаточно независимым от космологии, рассматривают как фундаментальный принцип природы — хотя и не всегда в этой строгой форме, но я показал, что такая форма необходима, если мы хотим объединить этот принцип с физикой.

Типлер указывает, что космология всегда хотела изучать *прошлое* (на самом деле главным образом отдаленное прошлое) пространства-времени. Но большая часть пространства-времени лежит в будущем от настоящей эпохи. Существующая космология действительно обращается к вопросу о том, произойдет ли повторный коллапс вселенной, но помимо этого было выполнено очень мало теоретических исследований относительно большей части пространства-времени. В частности, подходы к Большому сжатию изучались гораздо меньше, чем последствия Большого взрыва. Типлер считает, что теория омега-точки заполняет этот пробел. Я считаю, что теория омега-точки заслуживает того, чтобы стать господ-

ствующей теорией будущего пространства-времени, до тех пор пока и если не будет экспериментально (или как-то иначе) отвергнута. (Экспериментальное опровержение возможно, потому что существование омега-точки в будущем налагает определенные ограничения на состояние вселенной сегодня.)

Создав сценарий омега-точки, Типлер делает несколько дополнительных допущений (одни из них вероятны, другие не очень), которые позволяют ему набросать больше подробностей истории будущего. Именно квазирелигиозная интерпретация этой истории будущего Типлером и тот факт, что ему не удалось отделить эту интерпретацию от лежащей в ее основе научной теории, помешали серьезному восприятию последней. Типлер отмечает, что ко времени омега-точки будет создан бесконечный объем знания. Затем он допускает, что разум, существующий в этом отдаленном будущем, подобно нам, пожелает открыть знание, отличное от того, которое немедленно необходимо для его выживания (или, может быть, он будет нуждаться в этом). Он действительно обладает потенциалом открыть все физически познаваемое знание, и Типлер допускает, что он сделает это.

Таким образом, в некотором смысле омега-точка будет *всеведущей*.

Но только в некотором смысле. Приписывая омега-точке такие свойства, как всеведение или даже физическое существование, Типлер использует удобный лингвистический метод, который достаточно широко распространен в математической физике, но может сбить с правильного пути, если принимать его слишком буквально. Этот метод заключается в нахождении граничной точки последовательности с помощью самой последовательности. Таким образом, когда он говорит, что омега-точка «знает» X, он имеет в виду, что X известен какой-то конечной сущности до времени омега-точки и не будет забыт после этого. Типлер *не* имеет в виду, что в конечной точке гравитационного коллапса в буквальном смысле слова существует некая знающая сущность, поскольку там вообще нет физических сущностей. Таким образом, в самом буквальном смысле омега-точка не знает ничего, и о ее «существовании» можно говорить только потому, что некоторые наши объяснения структуры

реальности ссылаются на ограничивающие свойства физических событий в отдаленном будущем.

Типлер использует теологический термин «всеведущий» по причине, которая вскоре станет очевидна; но позвольте мне сразу же отметить, что в данном случае это слово не используется в его полном традиционном смысле. Омега-точка не будет знать *все*. Подавляющее большинство абстрактных истин, подобных истинам о СGT-средах и тому подобном, будут также недостижимы для нее, как недостижимы они для нас.

Итак, поскольку все пространство будет заполнено разумным компьютером, оно будет *вездесуще* (хотя лишь после определенной даты). Поскольку оно будет непрерывно перестраивать себя и направлять гравитационный коллапс, можно сказать, что оно будет контролировать все, что происходит в материальной вселенной (или в мультиверсе, если явление омега-точки произойдет во всех вселенных). Поэтому, говорит Типлер, омега-точка будет *всемогущей*. Но опять, это всемогущество не будет абсолютным. Напротив, оно строго ограничено доступным веществом и энергией и подчинено законам физики.

Поскольку разумными существами компьютера будут созидательные мыслители, их следует классифицировать как «людей». Любая иная классификация, как справедливо утверждает Типлер, была бы расистской. И поэтому он заявляет, что в пределе омега-точки существует всеведущее, всемогущее, вездесущее общество людей. Это общество Типлер отождествляет с Богом.

Я упомянул несколько аспектов, которыми «Бог» Типлера отличается от Бога или богов, в которых верит большинство религиозных людей. Есть и другие отличия. Например, люди вблизи омега-точки не смогли бы, даже если бы захотели, заговорить с нами, или сообщить нам свои желания, или сотворить чудеса (сегодня). Они не создавали вселенную, они не изобретали законы физики — и они не смогли бы нарушить эти законы, если бы захотели. Они могут слушать молитвы из сегодняшнего дня (возможно, улавливая очень слабые сигналы), но они не могут на них ответить. Они противостоят (и это можно вывести из эпистемологии Поппера) религиозной вере и не хотят, чтобы им поклонялись. И так далее. Од-

нако Типлер на этом не останавливается и утверждает, что большая часть основных черт Бога иудеохристианских религий свойственна и омега-точке. На мой взгляд, большинство религиозных людей не согласится с Типлером в том, что касается основных черт их религий.

В частности, Типлер указывает, что достаточно продвинутая технология будет способна воскрешать мертвых. Она сможет делать это несколькими различными способами, простейшим из которых, возможно, является следующий. Как только появится достаточная компьютерная мощность (не забывайте, что в конце концов доступным станет любое желаемое ее количество), можно будет запустить программу моделирования всей вселенной — а в действительности, всего мультиверса — в виртуальной реальности, начиная с Большого взрыва, с любой желаемой степенью точности. Если начальное состояние не будет известно достаточно точно, можно будет испытать произвольно детальный набор всех возможных начальных состояний и воссоздать все их одновременно. Возможно, модели придется остановиться из-за сложности, если воспроизводимая эпоха слишком приближается к действительному времени осуществления моделирования. Но вскоре она сможет продолжиться по мере того, как будут подключены дополнительные вычислительные мощности. Для компьютеров омега-точки нет ничего труднорешаемого. Для них есть только «вычисляемое» и «невычисляемое», а воспроизведение реальных физических сред определено относится к категории вычисляемых.

Во время этой имитации появится планета Земля и множество ее вариантов. Разовьется жизнь, а в конечном итоге и люди. Все люди, когда-либо жившие где-либо в мультиверсе (все те, чье существование было физически возможным), появятся где-то в этой грандиозной имитации. То же самое произойдет со всем когда-либо существовавшим внеземным разумом и искусственным интеллектом. Управляющая программа сможет подыскать эти разумные существа и, если захочет, поместить их в лучшую виртуальную среду — в такую, где они, возможно, не умрут снова, а все их желания будут выполняться (или, по крайней мере, все желания, которые сможет удовлетворить данный, невообразимо высокий уровень вычислительных ресурсов).

Почему она делала бы это? Одна причина могла бы быть моральной: по нормам отдаленного будущего среда, в которой мы живем сегодня, чрезвычайно сурова, и мы ужасно страдаем. Может быть, не спасти таких людей и не дать им шанс на лучшую жизнь будет считаться неэтичным. Но было бы контрпродуктивным немедленно поместить этих людей в современную культуру на момент воскрешения: они будут мгновенно сбиты с толку, почувствуют себя униженными и подавленными. Следовательно, говорит Типлер, можно ожидать, что мы воскреснем в среде такого типа, которая в сущности нам знакома, за исключением того, что будут удалены все неприятные элементы и добавлены многие чрезвычайно приятные. Другими словами, мы попадем на небеса.

В такой манере Типлер продолжает воссоздавать многие другие аспекты традиционной религиозной панорамы, заново определяя их как физические сущности или процессы, появление которых смело можно ожидать вблизи омега-точки. Хорошо, давайте отложим вопрос, соответствуют ли эти воссозданные версии своим религиозным аналогам. Вся история о том, что будут, а чего не будут делать эти разумные существа из далекого будущего, основана на цепочке допущений. Даже если мы поверим, что каждое из этих допущений само по себе правдоподобно, общие выводы не могут претендовать на что-то большее, чем обоснованное предположение. Подобные размышления стоит делать, но важно отличать их от доводов в пользу существования самой омега-точки и от теории ее физических и эпистемологических свойств. Ибо *эти* аргументы допускают не больше, чем то, что структура реальности действительно подчиняется нашим лучшим теориям, — допущение, которое можно доказать независимо.

В качестве предостережения о ненадежности даже обоснованного предположения позвольте мне нанести повторный визит античному строителю из главы 1 с его донаучным знанием архитектуры и инженерного дела. Нас отделяет от него такой огромный культурный пробел, что ему было бы чрезвычайно трудно постичь реальную картину нашей цивилизации. Но мы с ним почти современники по сравнению с огромным разрывом между нами и самым ранним возможным моментом типлеровского воскрешения. Итак,

допустим, что этот строитель размышляет об отдаленном будущем строительной промышленности и по какой-то экстраординарной случайности сталкивается с очень точной оценкой современной технологии. Тогда он будет знать, кроме всего прочего, что мы можем строить конструкции более огромные и впечатляющие, чем величайшие соборы его времени. Мы можем построить собор высотой в милю, если захотим. И мы могли бы сделать это, потратив гораздо меньшую часть своего богатства, меньше времени и меньше человеческого труда, чем понадобилось бы ему, чтобы построить самый скромный собор. Поэтому он с уверенностью мог бы предсказать, что к 2000 году будут построены соборы высотой в милю. Он бы ошибся, и очень ошибся, поскольку, несмотря на то что у нас есть технология строительства таких конструкций, мы выбираем их не строить. Действительно, сейчас кажется невероятным, что подобный собор когда-нибудь будет построен.

Даже если мы допустим знания нашего «почти современника» относительно нашей технологии, он ошибется в наших предпочтениях. Он ошибется, потому что некоторые из его неоспариваемых допущений о мотивации людей устарели всего через несколько веков.

Точно так же нам может показаться естественным, что разумные существа омега-точки ради исторического или археологического исследования, из чувства сострадания, морального долга или просто по своей прихоти в конечном итоге создадут модель нас в виртуальной реальности и когда их эксперимент завершится, они даруют нам те ничтожные вычислительные ресурсы, которые нам потребовались бы, чтобы вечно жить «на небесах». (Лично я предпочел бы, чтобы мне разрешили постепенно вливаться в их культуру.) Но мы не можем знать, чего захотят они. На самом деле ни одна попытка предсказать будущее крупномасштабное развитие человеческих (или сверхчеловеческих) дел не может дать надежных результатов. Как указал Поппер, будущий ход человеческих дел зависит от будущего роста знания. И мы не можем предсказать, какое именно знание будет создано в будущем, потому что, если бы мы могли это сделать, мы бы по определению уже обладали этим знанием в настоящем.

Но не только научное знание характеризует предпочтения людей и определяет манеру их поведения. Существуют также, например, моральные критерии, которые задают признаки «правильно» и «неправильно» для возможных действий. Известно, что подобные ценности трудно включить в научное мировоззрение. Представляется, что они образуют свою собственную замкнутую объяснительную структуру, отделенную от структуры физического мира. Как отметил Дэвид Юм, невозможно логически вывести понятие «должно» из понятия «есть». Тем не менее мы используем такие ценности как для объяснения, так и для определения своих физических действий.

Бедный родственник морали — *полезность*. Поскольку кажется гораздо проще понять, что объективно полезно или бесполезно, чем что объективно правильно или неправильно, мораль много раз пытались определить на основе различных форм полезности. Существует, например, эволюционная мораль, которая отмечает, что многие виды поведения, которые мы объясняем на основе морали, например, не убивай или не обманывай, сотрудничая с другими людьми, имеют аналоги в поведении животных. Существует и раздел эволюционной теории — *социобиология*, — добившийся некоторых успехов при объяснении поведения животных. Многие люди поддались искушению сделать вывод, что моральные объяснения выбора человека — это всего лишь видимость; что мораль совсем не имеет объективной основы и что «правильно» и «неправильно» — это просто ярлыки, которые мы применяем к нашим врожденным побуждениям именно такого, а не какого-то иного поведения. Другая версия того же самого объяснения заменяет гены на мемы и заявляет, что терминология морали — это всего лишь видимость для вписывания в социум. Однако ни одно из этих объяснений не соответствует фактам.

С одной стороны, мы не стремимся объяснять врожденное поведение — скажем, приступы эпилепсии — на основе морального выбора; у нас существует понятие произвольных и непроизвольных актов, и только для произвольных действий существуют моральные объяснения. С другой стороны, трудно представить себе хотя бы один тип врожденного человеческого поведения — избе-

гать боли, заниматься сексом, есть или что угодно еще, — от которого бы люди при различных обстоятельствах не отказывались по причинам морали. То же самое относится, даже в более широком смысле, к социально обусловленному поведению. В самом деле, подавление как врожденного, так и социально обусловленного поведения само по себе является характеристическим поведением людей, как и объяснение такого сопротивления на основе морали. Ни одна из этих форм поведения не имеет аналога у животных; ни в одном из этих случаев моральные объяснения невозможно истолковать на основе генов или мемов. Это роковая ошибка целого класса теорий. Разве мог бы существовать ген подавления генов, если человек захотел бы этого? А социальная обусловленность, поддерживающая сопротивление? Может быть, это возможно, но по-прежнему остается проблема, связанная с тем, как *мы выбираем, что делать вместо этого*, и что мы имеем в виду, когда объясняем свое сопротивление тем, что мы просто правы и что поведение, предписанное нашими генами или нашим обществом, в этой ситуации является злом.

Эти генетические теории можно рассматривать как особый случай более обширной уловки, которая отрицает, что моральные суждения имеют смысл, на том основании, что в действительности мы не выбираем свои действия, что свободная воля — это иллюзия, несовместимая с физикой. Но на самом деле, как мы видели в главе 13, свободная воля *совместима* с физикой и вполне естественно вписывается в описанную мной структуру реальности.

Утилитаризм был ранней попыткой соединить моральные объяснения с научным мировоззрением через «полезность», причем «полезность» отождествлялась с человеческим счастьем. Делать моральный выбор было равноценно вычислению, какое действие принесет больше счастья либо для одного человека (здесь теория становилась более неопределенной), либо для «самого большого» количества людей. Различные версии этой теории заменили «счастье» на «удовольствие» или «предпочтение». Если рассматривать утилитаризм как отречение от ранних авторитарных систем морали, то он безупречен. И в том смысле, что он просто защищает отказ от догмы и действие в соответствии с «предпочитаемой» теорией,

которая выжила после рациональной критики, все люди — утилитаристы. Но как попытка решить обсуждаемую здесь проблему, проблему объяснения смысла моральных оценок, он тоже содержит роковую ошибку: *мы выбираем свои предпочтения*. В частности, мы *изменяем* свои предпочтения и даем этому моральное объяснение. Такое объяснение нельзя перевести на язык утилитаризма. Существует ли основное, главное предпочтение, которое контролирует изменения наших предпочтений? Если бы такое предпочтение существовало, то его невозможно было бы изменить, и утилитаризм выродился бы в генетическую теорию морали, описанную выше.

Как же тогда моральные ценности связаны с конкретным научным мировоззрением, которое я защищаю в этой книге? Как минимум я могу утверждать, что нет фундаментального препятствия тому, чтобы сформулировать это отношение. Проблема со всеми предыдущими «научными мировоззрениями» заключалась в их иерархических объяснительных структурах. Точно так же, как невозможно в рамках такой структуры «доказать» *истинность* научных теорий, невозможно и доказать *правильность* образа действий (потому что как тогда доказать правильность структуры в целом?). Как я уже сказал, каждая из четырех нитей имеет иерархическую объяснительную структуру, но это неверно для структуры реальности в целом. Поэтому объяснение моральных ценностей как объективных качеств физических процессов не нужно приравнять к выведению их из чего-либо, даже в принципе. Так же, как с абстрактными математическими сущностями, вопрос в том, какой вклад они вносят в объяснение — можно ли понять физическую реальность или нет без приписывания реальности таким ценностям.

В этой связи позвольте мне отметить, что «эмерджентность» в обычном смысле — это единственный путь, на котором объяснения различных нитей могут быть связаны. До сих пор я фактически рассматривал только то, что можно было бы назвать *предсказательной* эмерджентностью. Например, мы верим, что предсказания теории эволюции логически следуют из законов физики, даже если доказать эту связь может оказаться труднорешаемой вычислительной задачей. Но мы не верим, что *объяснения* в теории эволюции следуют из физики. Однако неиерархическая объяснительная струк-

тура допускает возможность объяснительной эмерджентности. Допустим ради доказательства, что данное моральное суждение можно объяснить как правильное в некотором узком утилитарном смысле. Например: «Я хочу это; это никому не повредит; значит, это правильно». Но это суждение однажды может быть поставлено под сомнение. Я мог бы спросить: «*Следует ли мне хотеть этого?*» Или: «*Действительно ли я прав, что это никому не повредит?*» — так как сам вопрос о том, кому, по моему суждению, «повредит» это действие, зависит от моральных допущений. Если я буду спокойно сидеть в кресле у себя дома, то это «повредит» всем людям на Земле, которые могли бы извлечь пользу, если бы я вышел и помог им в тот момент; это также «повредит» всем вора́м, которые хотели бы украсть мое кресло, если только я ненадолго куда-то выйду, и так далее. Чтобы разрешить подобные вопросы, я привожу дополнительные теории морали, включающие новые объяснения моей моральной ситуации. Когда такое объяснение покажется удовлетворительным, я буду пытаться использовать его, чтобы рассудить, что правильно, а что нет. Но объяснение, хотя и временно удовлетворительное для меня, все же не поднимется над уровнем утилитаризма.

Теперь допустим, что кто-то создает общую теорию о таких объяснениях. Допустим, что он вводит такое понятие высокого уровня, как «права человека», и предполагает, что введение этого понятия (для данного класса моральных проблем, подобных той, которую я только что описал) всегда будет порождать новое объяснение, решающее эту проблему в утилитарном смысле. Далее, допустим, что эта теория об объяснениях сама по себе является объяснительной теорией. Она объясняет с помощью какой-то другой из четырех нитей, почему анализировать проблемы на основе прав человека «лучше» (в утилитарном смысле). Например, она могла бы объяснить на базе эпистемологии, почему можно ожидать, что уважение прав человека будет способствовать росту знания, которое само по себе является предварительным условием решения моральных проблем.

Если объяснение кажется хорошим, возможно, эта теория стоит того, чтобы ее приняли. Более того, поскольку утилитарные вычис-

ления невозможно трудны, тогда как анализ ситуации на основе прав человека зачастую осуществим, возможно, стоит предпочесть анализ на основе «прав человека» любой другой определенной теории о том, сколько счастья принесет какое-то конкретное действие. Если бы все это было истинно, могло бы оказаться, что концепцию «прав человека» невозможно даже в принципе выразить на основе «счастья» — что это совсем не утилитарное понятие. Мы можем назвать его моральным понятием. Эти понятия связаны через эмерджентное объяснение, а не через эмерджентное предсказание.

Я не защищаю именно этот конкретный поход; я просто показываю способ объективного существования моральных ценностей через их роль в эмерджентных объяснениях. Если бы такой подход действительно работал, то он бы объяснил мораль как разновидность «эмерджентной полезности».

«Художественную ценность» и другие эстетические понятия также всегда было сложно объяснить объективно. Их также часто объясняют как произвольные черты культуры или через врожденные предпочтения. И снова мы видим, что это не обязательно так. Как мораль относится к полезности, так и художественная ценность имеет менее экзальтированного, но более объективно определенного двойника — *замысел*. И вновь ценность особенности замысла можно понять только в контексте определенной цели для придуманного объекта. Но мы можем обнаружить, что возможно усовершенствовать замысел, включая в его критерии хороший эстетический критерий. Подобные эстетические критерии невозможно было бы вычислить из критериев замысла; одно из их применений заключалось бы в усовершенствовании самих критериев замысла. Отношение снова было бы связано с объяснительной эмерджентностью, а художественная ценность, или красота, была бы разновидностью *эмерджентного замысла*.

Чрезмерная уверенность Типлера в своей способности предсказать мотивы людей вблизи омега-точки привела к тому, что он недооценил важное следствие теории омега-точки для роли разума в мультиверсе. Оно заключается в том, что разум находится там не только для того, чтобы управлять физическими событиями в огромном масштабе, но и чтобы выбирать, что произойдет.

Именно мы будем выбирать конец вселенной, как сказал Поппер. Действительно, в большой степени будущие разумные мысли *содержат* то, что произойдет, ибо в конце концов все пространство и его содержимое *станет* компьютером. В конце вселенная будет состоять буквально из разумных мыслительных процессов. Где-то вблизи дальнего конца этих материализованных мыслей, может быть, лежит все физически возможное знание, выраженное в физических образах.

Моральные и эстетические размышления, как и результаты всех таких размышлений, также выражены в этих образах. В самом деле, существует или нет омега-точка, но везде, где есть знание в мультиверсе (сложность через многие вселенные), должны быть и физические следы морального и эстетического рассуждения, определившего, какого рода проблемы создающая знание сущность выбрала решать. В частности, прежде чем любой элемент фактического знания сможет стать сходным в полосе вселенных, моральные и эстетические суждения уже должны быть похожими в этих вселенных. Следовательно, такие суждения также содержат объективное знание в физическом смысле, в смысле мультиверса. Это оправдывает использование в этике и эстетике эпистемологической терминологии, как то: «проблема», «решение», «рассуждение» и «знание». Таким образом, если этика и эстетика вообще совместимы с мировоззрением, защищаемым в этой книге, красота и правильность должны быть столь же объективны, как научная или математическая истина. И они должны создаваться аналогичным образом, через предположения и рациональную критику.

Можно заметить, что Китс¹ вполне резонно сказал, что «красота — это истина, а истина — это красота». Это не одно и то же, но это вещи одного рода, они одинаково создаются и неразрывно связаны друг с другом. (Но он, безусловно, был неправ, когда продолжил «вот все, что мы знаем и что мы должны знать».)

В своем энтузиазме (в первоначальном смысле этого слова!) Тиллер пренебрег частью урока Поппера относительно того, как должен выглядеть рост познания. Если омега-точка существует и если

¹ Джон Китс (1795–1821) — британский поэт-романтик. — Прим. ред.

она будет создана так, как изложил Типлер, то поздняя вселенная действительно будет состоять из воплощенных мыслей непостижимой мудрости, творчества и абсолютных чисел. Но мысль — это решение проблем, а решение проблем означает конкурирующие предположения, ошибки, критику, опровержение и возвращение к исходному положению. Вероятно, *в пределе* (которого не ощутит никто) в момент конца вселенной можно будет понять все, что понятно. Но в каждой конечной точке знание наших потомков будет изобиловать ошибками. Их знание будет больше, глубже и шире, чем мы можем представить, но и масштаб их ошибок соответственно будет титаническим.

Как и мы, они никогда не познают определенность или физическую безопасность, поскольку их выживание, как и наше, будет зависеть от создания ими непрерывного потока нового знания. Если у них хотя бы однажды не получится открыть способ увеличения скорости вычисления и емкости памяти за имеющееся у них время, определенное неумолимым законом физики, небо упадет на них, и они погибнут. Их культура предположительно будет мирной и благотворной в такой степени, о какой мы не можем даже мечтать, но она отнюдь не будет спокойной. Она будет начинаться с решения огромных проблем и будет раскалываться от неистовых противоречий. По этой причине кажется невероятным, что их можно будет правильно рассматривать как «личности». Скорее это будет огромное количество людей, многообразно взаимодействующих на многих уровнях, но *не согласных друг с другом*. Они не будут говорить в один голос — не более, чем современные ученые на научном семинаре. Даже когда они случайно придут к соглашению, они часто будут ошибаться, и многие их ошибки останутся неисправленными произвольно долгое время (субъективно). По той же самой причине эта культура никогда не станет *морально* однородной. Не будет ничего святого (еще одно отличие от традиционной религии!), и люди постоянно будут оспаривать допущения, которые другие люди считают фундаментальными моральными истинами. Конечно, мораль, поскольку она реальна, постижима с помощью методов разума, а потому каждое частное противоречие будет разрешено. Но на смену ему придут следующие, еще более

захватывающие и фундаментальные противоречия. Подобное дисгармоничное, но прогрессивное скопление перекрывающихся сообществ весьма отличается от Бога, в которого верят религиозные люди. Но именно это, или даже некая субкультура внутри этого, и воскресит нас, если Типлер не ошибается.

В свете всех объединяющих идей, о которых я говорил, таких как квантовое вычисление, эволюционная эпистемология и мультиверсные концепции знания, свободная воля и время, мне кажется ясным, что современная тенденция в нашем всеобъемлющем понимании реальности именно такова, на какую я надеялся, будучи ребенком. Наше знание становится и шире, и глубже, причем, как я отметил в главе 1, глубина побеждает. Но в этой книге я претендовал на нечто большее. Я защищал конкретное единое мировоззрение, основанное на четырех нитях: квантовой физике мультиверса, эпистемологии Поппера, теории эволюции Дарвина — Докинза и усиленной версии теории универсального вычисления Тьюринга. Мне кажется, что при современном состоянии нашего научного знания придерживаться такого взгляда «естественно». Это консервативный взгляд, который не предлагает никаких пугающих изменений в наших лучших фундаментальных объяснениях. Значит, он должен стать господствующим взглядом — таким, относительно которого судят о предложенных новшествах. Я защищаю именно такую роль этого взгляда. Я не надеюсь создать новую традицию; я далек от этого. Как я уже сказал, я считаю, что пора двигаться дальше. Но мы можем перейти к лучшим теориям только тогда, когда воспримем лучшие из наших существующих теорий всерьез — как объяснения мира.

Библиография

Это должен прочитать каждый

Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976. [Revised edition 1989.] — Есть перевод: Докинз Р. Эгоистичный ген». 1993.

Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker*, Longman, 1986, Norton, 1987; Penguin Books, 1990. — Есть перевод: Докинз Р. Слепой часовщик. 2008.

David Deutsch, «Comment on «The Many Minds Interpretation of Quantum Mechanics» by Michael Lockwood», *British Journal for the Philosophy of Science*, 1996, Vol. 47, No. 2, p. 222.

David Deutsch and Michael Lockwood, «The Quantum Physics of Time Travel», *Scientific American*, March 1994, p. 68.

Douglas R. Hofstadter, *Godel, Escher, Bach, an Eternal Golden Braid*. Harvester, 1979, Vintage Books, 1980. — Есть перевод: Хофштадтер Д. Гёдель, Эшер, Бах: эта бесконечная гирлянда. 2001.

James P. Hogan, *The Proteus Operation*, Baen Books, 1986, Century Publishing, 1986. [Fiction!]

Bryan Magee, *Popper*, Fontana, 1973, Viking Penguin, 1995.

Karl Popper, *Conjectures and Refutations*, Routledge, 1963, Harper-Collins, 1995. — Есть перевод: Поппер К. Предположения и опровержения. Рост научного знания. 2004.

Karl Popper, *The Myth of the Framework*, Routledge, 1992. — Есть перевод: Поппер К. Миф концептуального каркаса. В книге: Поппер К. Логика и рост научного знания. 1983.

Для дальнейшего чтения

John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Clarendon Press, 1986.

Charles H. Bennett, Gilles Brassard and Artur K. Ekert, «Quantum Cryptography», *Scientific American*, October 1992.

Jacob Bronowski. *The Ascent of Man*, Publications, 1981, Little Brown, 1976.

Julian Brown, «A Quantum Revolution for Computing», *New Scientist*, 24 September 1994.

Paul Davies and Julian Brown, *The Ghost in the Atom*, Cambridge University Press, 1986.

Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, Oxford University Press, 1982. — Есть перевод: Докинз Р. Расширенный фенотип. 2010.

Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Alien Lane, 1995; Penguin Books, 1996.

Bryce S. DeWitt and Neill Graham (eds), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1973.

Artur K. Ekert, «Quantum Keys for Keeping Secrets», *New Scientist*, 16 January 1993.

Freedom and Rationality: Essays in Honour of John Watkins, Kluwer, 1989.

Ludovico Geymonat, *Galileo Galilei: A Biography and Inquiry into his Philosophy of Science*, McGraw-Hill, 1965.

Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1971. — Есть перевод: Кун Т. Структура научных революций. 1975.

Imre Lakatos and Alan Musgrave (eds), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, 1979.

Seth Lloyd, «Quantum-mechanical Computers», *Scientific American*, October 1995.

Michael Lockwood, *Mind, Brain and the Quantum*, Basil Blackwell, 1989.

Michael Lockwood, «The Many Minds Interpretation of Quantum Mechanics», *British Journal for the Philosophy of Science*, 1996, Vol. 47, 2.

David Miller (ed), *A Pocket Popper*, Fontana. 1983.

David Miller, *Critical Rationalism: A Restatement and Defense*, Open Court, 1994.

Ernst Nagel and James R. Newman, *Godel's Proof*, Routledge 1976.

Anthony O'Hear, *Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, 1991.

Roger Penrose. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford University Press, 1989.

Karl Popper *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Clarendon Press, 1972. — Есть перевод: Поппер К. Объективное знание. 2002.

Randolph Quirk, Sidney Greenbaum, Geoffrey Leech and Jan Svartvik, *A Comprehensive Grammar of the English Language*, 7th edn, Longman, 1989.

Dennis Sciama, *The Unity of the Universe*, Faber & Faber, 1967.

Ian Stewart, *Does God Play Dice: The Mathematics of Chaos*, Basil Blackwell, 1989; Penguin Books, 1990.

L. J. Stockmeyer and A. K. Chandra, «Intrinsically Difficult Problems». *Scientific American*. May 1979.

Frank Tipler, *The Physics of Immortality*, Doubleday, 1995.

Alan Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Mind*, October 1950. [Reprinted in the *The Mind's I*, edited by Douglas R. Hofstadter and Daniel C. Dennett, Harvester, 1981.]

Steven Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley, 1972. — Есть перевод: Вейнберг С. Гравитация и космология. 1975.

Steven Weinberg, *The First Three Minutes*, Basic Books, 1977. [... -:., 1981.] — Есть перевод: Вайнберг С. Первые три минуты. 2000.

Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, Vintage, 1993, Random, 1994.

John Archibald Wheeler, *A Journey into Gravity and Spacetime*, Scientific American Library, 1990.

Lewis Wolpert, *The Unnatural Nature of Science*, Faber & Faber, 1992, HUP, 1993.

Benjamin Woolley, *Virtual Worlds*, Basil Blackwell, 1992; Penguin Books, 1993.

Дойч Дэвид

Структура реальности

Наука параллельных вселенных

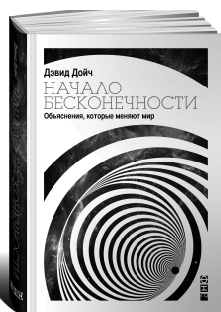
Руководитель проекта *А. Тарасова*
Корректор *М. Миловидова*
Компьютерная верстка *А. Фоминов*
Дизайнер обложки *Ю. Буга*

Подписано в печать 30.10.2014. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.
Объем 27 печ. л. Тираж 3000 экз. Заказ № .

ООО «Альпина нон-фикшн»
123060, г. Москва
ул. Расплетина, д. 19, офис 2
Тел. (495) 980-5354
www.nonfiction.ru

Знак информационной продукции
(Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)

0+

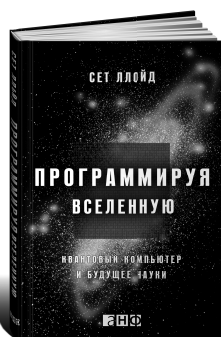


Начало бесконечности

Объяснения, которые меняют мир

Дэвид Дойч, пер. с англ., 2014, 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. Примером отступления от пути разума в науке предстает у него Копенгагенская интерпретация квантовой механики. Разумную альтернативу ей Дойч видит в интерпретации Эверетта, из которой вытекает картина мира как мультивселенной. Но сфера интересов автора не ограничивается наукой. Опираясь на идеи Карла Поппера и понятие разумного объяснения, Дойч формулирует теорию познания, из которой выводит существование объективной истины в этике и эстетике, а также политические принципы, способствующие неограниченному прогрессу.



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 микроскопические 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. Вселенная постоянно обрабатывает информацию — будучи квантовым компьютером огромного размера, она все время вычисляет собственное будущее. И даже такие фундаментальные события, как рождение жизни, половое размножение, появление разума, можно и должно рассматривать как последовательные революции в обработке информации.



Поток

Психология оптимального переживания

Михай Чиксентмихайи, пер. с англ., 5-е изд., 2015, 461 с.

В своей культовой книге выдающийся ученый Михай Чиксентмихайи представляет совершенно новый подход к теме счастья. Счастье для него сродни вдохновению, а состояние, когда человек полностью поглощен интересным делом, в котором максимально реализует свой потенциал, Чиксентмихайи называет потоком. Автор анализирует это плодотворное состояние на примере представителей самых разных профессий и обнаруживает, что эмоциональный подъем, который испытывают художники, артисты, музыканты, доступен в любом деле. Более того, к нему надо стремиться — и не только в целенаправленной деятельности, но и в отношениях, в дружбе, в любви. На вопрос, как этому научиться, и отвечает книга.



В поисках потока

Психология включенности в повседневность

Михай Чиксентмихайи, пер. с англ., 3-е изд., 2013, 194 с.

Как стать хозяевами собственной судьбы? Как получать радость от каждой минуты своего существования и при этом чувствовать, что идешь вперед? Как наполнить рутину смыслом? Выдающийся ученый Михай Чиксентмихайи продолжает тему своей культовой книги «Поток: психология оптимального переживания» применительно к повседневности. Здесь он показывает важность состояния потока в круге обычных дел, учит выявлять занятия, стимулирующие желание прилагать все свои силы и вносить соответствующие коррективы. Это касается и работы, и досуга, и отношений с окружающими, и воспитания детей. Овладев этими методами, каждый имеет шанс на достойную, содержательную, плодотворную и счастливую жизнь.