

Дэйв ГОЛДБЕРГ
Джефф БЛОМКВИСТ

ВСЕЛЕННАЯ!

КУРС ВЫЖИВАНИЯ

СРЕДИ
ЧЕРНЫХ ДЫР,
ВРЕМЕННЫХ
ПАРАДОКСОВ,
КВАНТОВОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

ЗОЛОТОЙ
ФОНД
НАУКИ

**Дэйв Голдберг
Джефф Бломквист
Вселенная! Курс выживания
среди черных дыр.
временных парадоксов,
квантовой неопределенности
Серия «Золотой фонд науки»**

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=9543768

*Вселенная! Курс выживания среди черных дыр, временных парадоксов,
квантовой неопределенности / Дэйв Голдберг, Джефф Бломквист.:
АСТ; Москва; 2015*

ISBN 978-5-17-090124-1

Аннотация

Эта книга – идеальный путеводитель по самым важным и, конечно, самым увлекательным вопросам современной физики: «Возможны ли путешествия во времени?», «Существуют ли параллельные вселенные?», «Если вселенная расширяется, то куда она расширяется?», «Что будет, если, разогнавшись до скорости света, посмотреть на себя в зеркало?», «Зачем нужны коллайдеры частиц, и почему они должны работать

постоянно? Разве в них не повторяют без конца одни и те же эксперименты?» Юмор, парадоксальность, увлекательность и доступность изложения ставят эту книгу на одну полку с бестселлерами Я. Перельмана, С. Хокинга, Б. Брайсона и Б. Грина.

Настоящий подарок для всех, кого интересует современная наука, – от любознательного старшеклассника до его любимого учителя, от студента-филолога до доктора физико-математических наук.

Содержание

Введение	11
Глава 1	20
I. Почему нельзя определить, с какой скоростью плывет корабль в тумане?	26
II. С какой скоростью летит луч света, если бежишь рядом с ним?	35
III. Если летишь в звездолете со скоростью, близкой к скорости света, какие ужасы ждут тебя по возвращении?	42
IV. Можно ли развить скорость света (и поглядеть на себя в зеркало)?	48
V. А разве относительность не придает атомам бесконечную энергию?	53
Глава 2	63
I. Из чего состоит свет – из крошечных частиц или из большой волны?	70
II. Можно ли изменить реальность, если просто смотреть на нее?	78
III. Что же такое, в самом деле, электроны, если их как следует рассмотреть?	84
IV. Не квантовая ли механика виновата в том, что я постоянно все теряю?	90
V. Можно ли взять и построить телепортатор,	99

как в «Звездном пути»?	
VI. Если в лесу падает дерево и никто этого не слышит, раздается ли шум?	105
Глава 3	119
I. Если физический мир настолько непредсказуем, почему мы замечаем это далеко не всегда?	124
Конец ознакомительного фрагмента.	130

**Дэйв Голдберг,
Джефф Бломквист
Вселенная! Курс
выживания среди
черных дыр, временных
парадоксов, квантовой
неопределенности**

Права на перевод получены соглашением с Dave Goldberg и Jeff Blomquist при содействии литературных агентств

The Stuart Agency и Prava I Prevodi International Literary Agency.

Dave Goldberg, Jeff Blomquist
A User's Guide to the Universe
Surviving the Perils of Black Holes,
Time Paradoxes and Quantum Uncertainty

© 2010 by Dave Goldberg and Jeff Blomquist

...автор показал, как много захватывающих

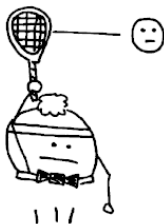
открытий ждет нас совсем скоро!



Как давно мы уже не видели хороших научно-популярных книг... Нынешнее поколение молодых людей воспитано целиком на бизнесе, на идее заработать... Наука стала не модной. Даже странно, что люди не видят, казалось бы, очевидного, что не только весь мировой бизнес, но и вся наша жизнь в очень короткие сроки радикально меняется под воздействием научных идей и изобретений. Спасибо автору, что показал, как удивителен мир и как много захватывающих открытий ждет нас совсем скоро.

Айзек Груман, Израиль

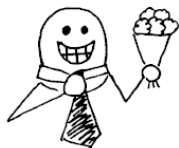
...представление об увлекательнейшей науке физике, а также ключ к ее пониманию



Если бы я эту книгу прочитал в школе, наверняка по-другому воспринимал бы физику, да и вообще естественные науки. Только через такой очищенный от усложняющих подробностей подход можно получить представления об этой увлекательнейшей науке, а также ключ к ее пониманию.

Ричард Декстер, США

...уяснила многие вещи, которые раньше не понимала



Всегда уважала физику и тех, кто в ней разбирается. Но это было как-то недоступно, литература на эту тему всегда была слишком сложной для моего восприятия. А недавно наткнулась на эту книгу, взяла ее пролистать ради интереса. Сразу же увлеклась и купила. Написано доступным живым языком, остроумно, с примерами

и иллюстрациями. Я для себя уяснила многие вещи, которые раньше не понимала. Ну а для тех, кого не пугает физика, скажу, что в ней только одна формула, да и та уже всем известна.

Ротт Дж. Харман, США

...писали бы так учебники по физике!



Увлекательнейшая книга! Прочла за один вечер, смеялась так, как давно не смеялась над художественной литературой. Писали бы так учебники по физике, в мире было бы больше образованных людей.

Клара М. Брилл, США

...оказывается, путешествия во времени возможны уже сейчас, и наука этого не отрицает



В школе любил физику и обожал астрономию.

Помимо школьного курса прочитал массу литературы на тему астрономии. Но такой книги никогда не встречал. Читается на одном дыхании. Написано на доступном языке для обычного человека. В книге очень много шуток и юмора. А самое главное – там написано о таких вещах, которые лично я не проходил в школе. Потрясла глава о путешествиях во времени. Оказывается, они возможны уже сейчас, и наука этого не отрицает. Только не удивляйтесь, что ни один из трех способов путешествия во времени не похож на способ из фильма «Назад в будущее». Если вы сами или ваш ребенок увлекается астрономией, настоятельно рекомендую прочесть эту книгу.

Тим Кристи, США

Введение



«ТИПИЧНЫЙ» УЧЕНЫЙ

И чем же вы занимаетесь?

Занятия физикой обрекают на одиночество. Только представьте себе: вы летите на самолете, и сосед спрашивает, кто вы по профессии. Вы отвечаете, что физик. С этой минуты беседа может пойти по двум направлениям. В девяти случаях

ях из десяти с уст собеседника срывается нечто вроде: «Боже мой, как же я ненавижу физику в школе!»¹ После чего остаток перелета (вечеринки, поездки в лифте, романтического свидания) вы будете извиняться за эмоциональную травму, которую физика, по всей видимости, нанесла вашему, так сказать, давнему знакомому.

Подобные случайные беседы зачастую выявляют, что к областям точных и естественных наук принято относиться с таким веселым презрением. Фраза: «Ах, я ничего не смыслю в алгебре!» произносится прямо-таки хвастливым тоном, каким никогда не скажут: «Да я и читать-то толком не умею». Но почему?!

Физика совершенно незаслуженно считается наукой трудной, непрактичной и занудной. Трудная? Возможно. Непрактичная? Разумеется, нет. Более того, если пытаться «продать» физику широкой публике, почти всегда речь заходит о том, как с ее помощью строить мосты или запускать ракеты, то есть о том, каким образом физика служит фундаментом для техники и химии.

А как насчет занудства? Тут-то и возникает главный вопрос. Как нам представляется, проблема в том, что практическая сторона физики выпячивается в ущерб интересной. Даже люди технического склада вроде инженеров или про-

¹ Когда миссис Голдберг прочитала рукопись, она наконец призналась, что на нашем первом свидании прикусила язык и титаническим усилием воли заставила себя не говорить ничего подобного.

граммистов обычно не идут дальше механики и электромагнетизма, а ведь там-то и начинается самое веселье. И очень жаль, ведь, откровенно говоря, в последние годы сделано удручающе мало сенсационных открытий в области физики блоков и рычагов.

Враждебное отношение к физике, похоже, крепко укоренилось в обществе, поэтому стало трудно вести дискуссии, не изнуряя слушателей. Затевая беседу о науке со «штатским», мы, проповедники и пропагандисты физики, часто чувствуем, что пытаемся заставить человека есть полезные овощи и подводим под это какую-то рациональную базу. Мы никогда не начинаем разговор о физике со слов «Это же так весело и интересно!», а почти всегда говорим: «Это же так нужно и полезно», отчего, конечно, все веселье тут же и улечивается.

В эпоху, когда постоянно появляются новые технологии, необходима всеобщая фундаментальная научная грамотность. С другой стороны, чтобы понимать науку, не нужно дополнительно получать пятилетнее высшее образование. Чтобы понимать, в чем состоит суть революционных открытий в квантовых вычислениях или космологии, совсем не требуется подробно знать, как устроена физика. Однако важно понимать, почему эти открытия так важны и как они способны воздействовать на технологию и на нашу жизнь.

И дело не в том, что людям просто надо понимать конкретную теорию. Физика – главная индуктивная наука на

свете, и если человек научится понимать, как эта наука развивается, он сможет принимать куда более разумные решения по самым разным вопросам – от глобального потепления до «теории разумного замысла». Нам представляется, что мы лучше других умеем возражать тем, кто с нами не согласен, не просто настойчивым «нет», а доказанными фактами.

В частности, в США положение с обучением математике и точным наукам просто катастрофическое – школьники показывают результаты гораздо ниже среднего по сравнению с другими развитыми странами. Но в этом нельзя винить только подростков, их учителей или, если уж на то пошло, программу всеобщего среднего образования.

На самом деле эта проблема куда шире, она затрагивает все стороны жизни. Просто у школьников она проявляется ярче всего – ведь не станешь же задавать пятидесятилетним дядям и тетям наукообразные вопросы вроде «У тебя десять кур, пять ты съел, на сколько у тебя подскочит холестерин?». Если посмотреть с точки зрения так называемой проблемы практического применения, вся прикладная математика кажется полным абсурдом. В каждом классе находится множество детей, которые поднимают руки и спрашивают: «Скажите, а в жизни мне алгебра когда-нибудь понадобится?» – и делают вывод, что единственная цель изучения этого предмета заключается в хороших оценках.

Джон Аллен Паулос в своей великолепной серии книг пишет об эпидемии «арифметической неграмотности», а в ряде

интереснейших эссе, которые обычно не попадают к школьникам и студентам, пытается развить у читателей способность критически воспринимать численные концепции и показать (по нашему мнению, успешно), что математика интересна отнюдь не только своими практическими приложениями вроде подведения баланса ежемесячных расходов или проверки сдачи в магазине.

Возможно, вы уже успели убедиться на опыте, что в физике существует такой же разрыв между практикой и сенсацией. Сухие курсы механики вполне способны отвратить от физики, но научная фантастика, газетные статьи о крупных открытиях или последние снимки с космического телескопа «Хаббл» привлекают к ней снова.

Однако в научной фантастике и газетных статьях редко идет речь о сенсационных прорывах в области физики наклонной плоскости.

Нет – если уж публику что-то волнует, это, скорее всего, открытия, касающиеся эволюции Вселенной, или масштабные эксперименты вроде Большого адронного коллайдера, или сведения о жизни на других планетах. Мы уже говорили, что в девяти случаях из десяти попытки обсудить физику в аэропорту или за коктейлями приводят к тому, что нам таки не дают телефончик и приходится ехать домой в гордом одиночестве, но в оставшемся одном случае происходит настоящее чудо. Бывает и так, что у нас получается не поединок, а диалог. Иногда, очень редко, нам везет и нас усаживают ря-

дом с человеком, у которого или в школе был феноменальный учитель физики, или дядюшка работает в НАСА, или он сам инженер и считает, что наши ученые занятия – никакая не чушь, а просто милое интеллигентное чудачество.

В таких случаях беседа течет по совершенно иному руслу. Случается, что мы наталкиваемся на человека, которого давно интересовало, как устроена Вселенная, просто он никак не мог сообразить, какие ключевые слова искать в «Википедии». А может быть, в последнем выпуске научно-популярного журнала им попалась интересная заметка и хотелось бы узнать обо всем поподробнее. Вот какие вопросы задавали нам недавно:

✓ Говорят, Большой адронный коллайдер создаст такие маленькие черные дыры, которые уничтожат Вселенную. Это правда? (Вот вам лишнее доказательство – как будто их мало, – что физики в коллективном сознании чокнутые профессора, которые спят и видят, как бы уничтожить Землю.)

✓ Возможно ли путешествие во времени?

✓ Существуют ли параллельные вселенные?

✓ Если Вселенная расширяется, то куда и во что?

✓ Что будет, если посмотреть на себя в зеркало, когда путешествуешь со скоростью света?

Именно такие вопросы в первую очередь и заставили нас в свое время полюбить физику всей душой. Более того, последний вопрос в этом списке задавал даже сам Эйнштейн – и именно этот вопрос стал одним из главных стимулов, побу-

дивших разработать специальную теорию относительности. Иначе говоря, когда мы рассказываем, что мы делаем, то обнаруживаем, что некоторых людей – пусть даже эти люди встречаются крайне редко – интересуют в точности те же аспекты физики, что и нас.

Самый очевидный способ решить эту задачу – сделать ответы на вышеприведенные вопросы более доступными, осветить их в учебных материалах по физике и математике. Большинство авторов учебников полагают, что сделают физику более увлекательной, если поместят на обложки своих творений изображения вулканов, локомотивов и молний². По всей видимости, они считают, что в результате школьники посмотрят на книжку и воскликнут: «Круто! Вот теперь я вижу, что физика имеет отношение к жизни!» Наш опыт показывает, что на такой мякине школьников не проведешь. Даже если обложка их и привлечет, они заглянут в оглавление в поисках параграфа «Как вызвать молнию своими руками» и будут еще сильнее разочарованы, не обнаружив его.

Кстати, хотим упомянуть, что в настоящей книге мы этого подхода не придерживаемся. Здесь вы не найдете роскошной графики³ и вообще ничего такого, из-за чего издание книги могло бы стать дороже. Наш подход будет очень про-

² На одной такой «юмористической» обложке были изображены кегли, разлетающиеся от мяча для боулинга, что, по мысли автора, символизировало студентов, пораженных мощью и размахом физической науки.

³ Хотя один из авторов утверждает, что все наши иллюстрации или остроумны, или познавательны, или и то и другое.

стым: физика интересна сама по себе. Да-да, так и есть! А если вас нужно уговаривать и дальше, мы торжественно обещаем обеспечить не менее пяти скверных шуток на главу (в том числе плоские каламбуры, бородатые анекдоты и убогие картинки с претензией на юмор). Чтобы дать вам представление о подобного рода юморе для семейного пользования, приведем пример.

Вопрос: Что делает фотон на дискотеке?

Ответ: Запускает световую волну!

Так вот, каждая глава этой книги будет начинаться с забавной картинки, иллюстрирующей непростительно дурацкий каламбур, и с вопроса о том, как устроена Вселенная. Отвечая на этот вопрос, мы предложим вам путешествие по той физике, которая с ним связана, а к концу главы, надемся, покров тайны, окружающий этот вопрос, будет снят, а забавная картинка – при условии, конечно, что у вас будет возможность взглянуть на нее еще разок – внезапно станет уморительно смешной. Это мы продеваем именно так, как, по вашему мнению, положено ученым, то есть крайне заковыристо и обвиняками.

Все это не значит, что для того, чтобы понять нас, нужно непременно быть гением в области физики, – совсем наоборот. Наша цель – найти область пересечения между теми, кто понимает, как величавы и волшебны физические основы Вселенной, и теми, кто скорее убьется тяжелым предметом, как выражается нынешняя молодежь, чем допустит, чтобы

его застукали в радиусе ста метров от транспорта.

Многие авторы научно-популярной литературы, лишенные возможности иллюстрировать свои мысли формулами, прибегают к аналогиям – но беда в том, что читателю далеко не всегда понятно, что написано – это именно аналогия, а не буквальное описание задачи. Очевидно, что при запрете на использование математики будет неизбежно утерян и существенный элемент физики. Мы же хотим донести до читателя, что над задачей стоит подумать, даже если не располагаешь формулами для ее численного решения: главное – понимать, что на самом деле происходит, а математические вычисления – это, в конце концов, не более чем математические вычисления.

Подобное описание наталкивает на вопрос: а что вам, яйцеголовым, нужно от меня? Когда мы писали эту книгу, то избавились от каких бы то ни было предвзятых представлений. Доказательства, которые мы приводим, все до единого основаны на самых элементарных сведениях. Мы вовсе не хотим запугивать вас математикой или жуткими формулами. И вообще намерены избавиться от них раз и навсегда. Пусть не путаются под ногами. Все, кроме одной. Вот она:

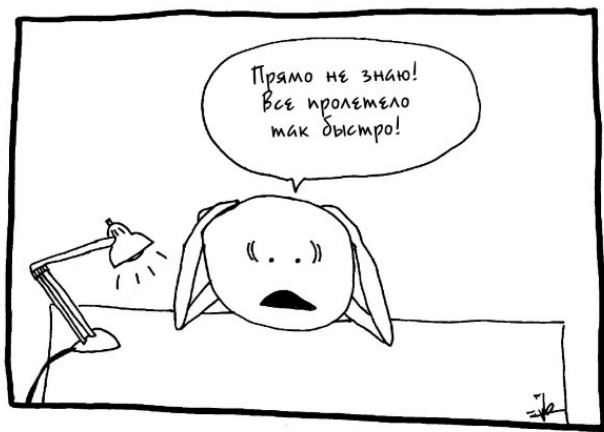
$$E = mc^2$$

Ну, вот и все. Совсем не больно, правда?

Глава 1

Специальная теория относительности

*Что будет, если посмотреть на себя в зеркало,
когда путешествуешь со скоростью света?*



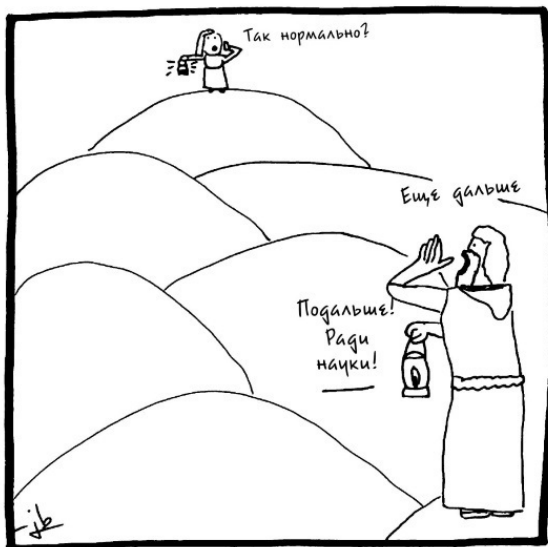
ФОТОН В УЖАСЕ ВСПОМИНАЕТ СОБЫТИЯ
ПОСЛЕДНИХ СТА ЛЕТ

Какими бы ни были воспоминания о школьных годах, в них всегда есть одна общая деталь: в каждом классе всегда находилась горстка детей – самых «крутых», – пылающих

неутолимой страстью высмеивать все и вся вокруг. Вот почему нам так нравится считать себя «крутыми ребятами» в физике – если такое вообще возможно. Приведем пример⁴. Часть предисловия мы уделили тому, что потешались над авторами учебников, которым для «оживляжа» физики требуются природные катаклизмы, спорт или машины и механизмы чудовищной мощности. Так вот, мы вовсе не берем свои слова назад, однако справедливости ради стоит сказать, что в некоторых из этих дурацких примеров есть рациональное зерно. Очень маленькое.

Да, ведь в глубине души мы знаем, что фестиваль физики невозможно начать без фейерверков. Если бы вы когда-нибудь были на праздновании Дня независимости в местной Торговой палате и решили привнести в торжества немного физики, вы бы заметили, что между алыми вспышками в небе и грохотом разорвавшихся петард проходит некоторое время. Взрыв видно за несколько секунд до грохота. Вероятно, что-то подобное вы наблюдали и на масштабных рок-концертах, когда вам доставался билет в последний ряд: между музыкой и музыкантами образуется зазор. Звук распространяется очень быстро, но свет – еще быстрее.

⁴ Заодно и дадим очередного пинка.



ГАЛИЛЕЙ ИЗОБРЕТАЕТ ИДЕАЛЬНЫЙ СПОСОБ
ОТШИВАТЬ НАДОЕВШИХ ПОКЛОННИЦ

В 1638 году Галилей из Пизы (один из первых «крутых ребят» в физике) придумал, как вычислить скорость света. Эксперимент выглядел следующим образом: Галилей стоял на холме со светильником, а его помощник со своим светильником уходил далеко-далеко и взбирался на другой холм. Они сигналили друг другу светильниками – то закрывали шторку, то открывали. Каждый раз, когда Галилей видел, что помощник открывает или закрывает шторку, он делал то же самое со своим светильником – и наоборот. Галилей наде-

ялся, что если холмы будут достаточно далеко, можно будет измерить скорость света. Ни о какой точности речи не было, но Галилей все равно молодец, потому что хорошо придумал и к тому же пришел к весьма занятному выводу: скорость света либо бесконечна, либо чертовски велика.

В следующие несколько столетий физики несколько раз оценивали скорость света с большей точностью, но мы не будем мучить вас сложными вычислениями или детальными описаниями хитроумных экспериментальных установок. Достаточно сказать, что чем дальше, тем сильнее хотелось физикам пролить свет на свет. Несколько ученых, в том числе Альберт Эйнштейн, предположили, что неважно, стоишь ты или двигаешься, когда измеряешь скорость света, – величина ее от этого не меняется. Они были правы.

Сейчас считается, что скорость света равна 299 792 458 метров в секунду. В дальнейшем мы не будем сыпать цифрами, а просто договоримся называть скорость света c – от латинского слова *celeritas*, что значит «быстрота». Измерить ее при помощи кухонного таймера и рулетки не получится. Чтобы вычислить c настолько точно, нужны атомные часы на атомах цезия-133. Научное сообщество договорилось определять секунду как ровно 9 192 631 770 характерных времен излучения сверхтонкого перехода в цезии-133. Может показаться, что это излишне все усложняет, но на самом деле так гораздо проще⁵. То есть секунда, как и размер вашей шля-

⁵ По крайней мере так гораздо проще для тех ученых, которые знают, что такое

пы, — величина, которую мы определяем, опираясь на материальные данные: очень много физиков могут сделать себе очень много цезиевых часов, и поскольку все атомы цезия ведут себя одинаково, все эти часы будут отмерять одинаковое время.

Итак, мы нашли крайне неординарный способ определения секунды — но как это поможет измерить скорость света? Скорость — это отношение расстояния ко времени, например, километры в час, а поскольку мы уже определили секунду, у нас есть некая точка опоры. Осталось всего-навсего определить метр. Казалось бы, в этом нет ничего сложного: ведь метр у нас ровно метр длиной. Берешь портновскую линейку, и дело с концом. Только вот сколько это — метр?

С 1889 по 1983 год, если человек хотел точно узнать собственный рост, ему нужно было поехать во Францию, в Международное бюро мер и весов в городе Севре, пойти в хранилище, взять там платиновый эталон метра и измерить себя. Это не только хлопотно (и противозаконно, если заблаговременно не попросить разрешения, не забыв сказать «пожалуйста» и «спасибо»), но и, как правило, крайне неточно. Большинство материалов, в том числе и платина, при нагревании расширяются. При старой системе в жаркую погоду метр оказывался чуточку длиннее, чем в холодную.

Так вот, вместо того чтобы пользоваться эталоном метра, мы берем часы, которые точно отмеряют секунды, и опре-

сверхтонкий переход. Вам этого знать не надо, на контрольной этого не будет.

деляем метр как $\frac{1}{299\,792\,458}$ долю того расстояния, которое проходит свет за одну секунду. Чтобы окончательно расставить все по местам, поясню, что мы только что сделали. Мы сказали: «Скорость света мы знаем точно, и она постоянна. Но вот с метрами выходит некоторая путаница, и сейчас мы ее проясним». Все эти сложности означают, что мы можем задать метр через скорость света и секунду и что теперь все пользуются одной и той же системой измерения.

Однако не забывайте, что главное – то, что скорость света не бесконечна. Не понимаете, от чего тут приходиться в восторг? Тогда приготовьтесь к взрыву философической бомбы: если скорость света не бесконечна, значит, мы вечно смотрим в прошлое. Сейчас, когда вы читаете эту книгу, которая находится в 30 сантиметрах от ваших глаз, вы видите ее такой, какой она была примерно миллиардную долю секунды назад. Солнечному свету требуется около восьми минут, чтобы дойти до Земли, так что если пять минут назад наше светило взорвалось, у нас нет никакой возможности узнать об этом⁶. Когда мы смотрим на звезды в нашей Галактике, свету требуется сотни и даже тысячи лет, чтобы дойти до нас, так что отнюдь не исключено, что некоторых из звезд, которыми мы любуемся, уже не существует.

⁶ По крайней мере в ближайшие 180 секунд.

I. Почему нельзя определить, с какой скоростью плывет корабль в тумане?

Ни в одном эксперименте не была получена частица, которая двигалась бы со скоростью больше скорости света⁷.

Позвольте представить вам Рыжего по прозвищу Ржавый, бродячего физика, отвергнутого обществом из-за нетривиальных гигиенических стандартов, принятых среди людей его круга. Рыжий сумел «позаимствовать» платиновый эталон метра из Международного бюро стандартов (хотя это и не очень точный эталон, бродячему физики сгодится и он) и нашел где-то кучу атомов цезия, из которых можно сделать цезиевые часы.

Рыжий развлекается тем, что весь день напролет швыряет свои пожитки⁸ вдоль движущегося вагона. Каждый раз он измеряет расстояние, которое пролетает узелок, и время, которое уходит на то, чтобы его пролететь. Поскольку скорость — это отношение расстояния ко времени, которое уходит на то, чтобы его пройти (километры в час), Рыжий может до-

⁷ Те из вас, кто особенно поднаторел в научной фантастике, вероятно, слышали о гипотетической частице под названием тахион, которая движется быстрее света. Таковую частицу пока никто не поймал. Тахион как физическая частица, а не математическое понятие пока что принадлежит к области научной фантастики, а не наших интересов.

⁸ Если вы забыли, напомним, что это узелок в горошек, привязанный к палке.

статочно точно вычислить скорость узелка.

После утомительного дня, посвященного метанию узелка, Рыжий ложится спать, а просыпается он в своем частном товарном вагоне. Поскольку окон в товарных вагонах нет, а поезд едет по ровному участку дороги, Рыжий, приоткрыв дверь и обнаружив, что поезд движется, чувствует себя несколько дезориентированным. Не знаю, замечали ли вы, что даже в машине иногда не знаешь, едешь или стоишь, если не глядеть в окно.

Скорее всего, не замечали. Вероятно, вы не замечали и того, что если стоишь на экваторе, то движешься со скоростью больше 1600 километров в час относительно центра Земли. А сама Земля движется вокруг Солнца еще быстрее – со скоростью 108 800 километров в час. А Солнце движется со скоростью примерно в 800 тысяч километров в час относительно центра галактики Млечный Путь, который, в свою очередь, несется по Вселенной со скоростью свыше полутора миллионов километров в час.

Нас интересует то, что вы (или Рыжий) не замечаете, что поезд (Земля, Солнце, галактика) движется, не говоря уже о том, насколько быстро, если движение происходит плавно и равномерно.

Галилей использовал этот довод, когда доказывал, что Земля движется вокруг Солнца. Большинство его современников считали, что если бы Земля летела вокруг Солнца, мы бы как-то ощущали это движение, а если нет, значит, она

неподвижна.

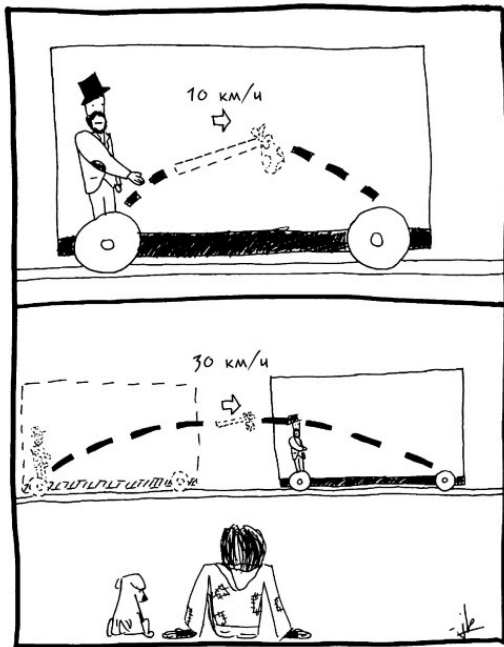
«Ерунда!» – говорил на это Галилей. Он сравнил движение Земли с движением корабля по спокойному морю. При таких обстоятельствах моряк не может сказать, плывет корабль или стоит неподвижно. Этот принцип известен как «принцип относительности Галилея» (не путать со специальной теорией относительности Эйнштейна, с которой мы познакомимся в самом ближайшем времени).

Согласно Галилею (и Исааку Ньютону, и в конечном итоге Эйнштейну), нет буквально никакого эксперимента, который в поезде, движущемся прямолинейно и равномерно, привел бы к иным результатам, чем если бы вы сидели неподвижно. Вспомните, как вы ехали в машине и швырялись в братишку фантиками, пока родители не грозились «немедленно развернуться и поехать домой, если ты не прекратишь обижать брата, негодник!». Хотя машина при этом ехала со скоростью 80 километров в час, а то и больше, вы бросали фантики в точности так же, как если бы машина стояла на месте. Нравится вам это или нет, а все эти шалости были не чем иным, как простейшим физическим опытом. С другой стороны, все это справедливо, только если скорость и направление машины/поезда/планеты/галактики в точности (или почти-почти совсем) постоянны. Вы бы это почувствовали в полной мере, если бы родители выполнили свою угрозу и ударили по тормозам.

Так что, проснувшись после блаженной дремоты, чтобы

вернуться к своим пожиткобросательным экспериментам, Рыжий, вероятно, и не знает, что поезд равномерно и прямолинейно движется со скоростью около 20 километров в час. Рыжий кидает узелок вдоль вагона и оценивает его скорость, скажем, в 10 километров в час. Его соратник Пачкуля, тоже бродячий физик, стоит на земле, видит движущийся поезд и тоже решает поучаствовать в экспериментах. При помощи особых рентгеновских очков, которые позволяют видеть сквозь стены вагона (и входят в арсенал каждого бродячего физика), Пачкуля тоже измеряет скорость брошенного Рыжим узелка. С наблюдательного пункта вне поезда Пачкуля видит, что узелок движется со скоростью около 30 километров в час (20 км/ч – это скорость поезда, на котором едет Рыжий, плюс еще 10 км/ч – скорость узелка).

Кто же прав? С какой скоростью движется узелок – 10 или 30 километров в час? Так вот, правы оба. Мы бы сказали, что узелок движется со скоростью 10 километров в час *относительно Рыжего* и 30 километров в час *относительно Пачкули*.

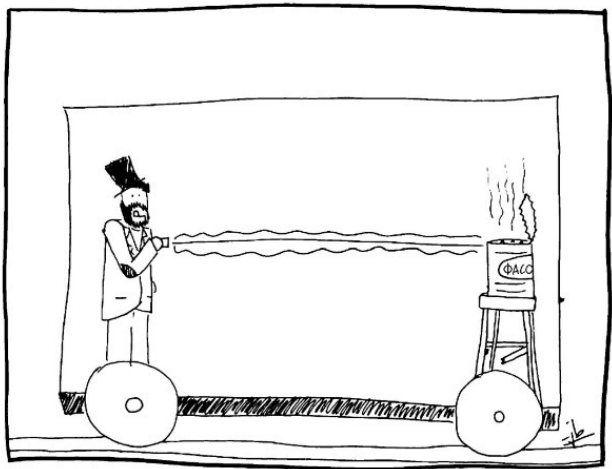


Теперь представьте себе, что в нашем поезде есть ультра-современная лаборатория, оборудованная лазерами (лазерный луч сделан из света и, естественно, движется со скоростью c). В одном конце поезда расположен лазер, которым управляет Рыжий. В другом конце поезда расположена открытая банка консервированной фасоли. Если Рыжий настроит лазер на короткие вспышки (само собой, чтобы разогреть фасоль, а вы что подумали?) и измерит время, через

которое фасоль начнет подогреваться, то он сможет вычислить скорость лазера и обнаружит, что она равна c .

А как же Пачкуля? Резонно предположить, что он определит, что вспышка света достигла детектора через такое же время. Однако здравый смысл подсказывает, что он определит, что свет движется со скоростью $(c + 20)$ км/ч. Как мы уже говорили, Эйнштейн предположил, что скорость света одинакова для всех наблюдателей, но по нашим рассуждениям выходит, что луч движется вовсе не со скоростью c . Со всем не со скоростью c ! Неужели великий Эйнштейн ошибался?⁹

⁹ Нет. В данном случае – нет. Но однажды он все-таки перемудрил. Об этом мы поговорим в главе 6.



Позади всего каких-то страниц книги, а мы уже нарушили законы физики. Нам не было бы так стыдно, даже если бы мы заявили на вечеринку точь-в-точь в таком же платье, как хозяйка дома. Похоже, мы сели в лужу. Если бы только поблизости нашелся какой-нибудь маньяк-ученый, который проследил бы, чтобы это больше не повторилось, и привел бы какой-нибудь конкретный пример, железно доказывающий, что c — константа...

Так вот, такой ученый у нас есть. Зовут его Альберт Майкельсон, и он любил свет так, что сегодня его назвали бы «двинутым» или по крайней мере «со странностями». Его научная карьера началась в 1881 году, когда он уволился из

флота, чтобы заняться физикой. Некоторое время он измерял скорость света самостоятельно, подрабатывая в Берлине, Потсдаме и Канаде, а затем познакомился с Эдвардом Морли. Ученые объединились, чтобы создать еще более хитроумные устройства для измерения скорости света, впоследствии заняв первую строчку хит-парадов со своей песней «Мост над бурной рекой», которая продержалась там шесть недель подряд¹⁰.

Все эти устройства были основаны на следующем принципе: поскольку Земля совершает полный оборот вокруг Солнца за год, их лаборатория должна в разное время года двигаться в разном направлении и с разной скоростью. А измерять, меняется ли скорость света при движении в разные стороны, должен был «интерферометр» Майкельсона. Здравый смысл подсказывает, что, поскольку Земля движется по орбите в разных направлениях, значение c должно меняться.

Здравый смысл вас обманывает. Майкельсон и Морли ставили один эксперимент за другим и доказали, что, куда бы ни двигалась Земля, скорость света везде одинакова.

Для 1887 года это была та еще головоломка, к тому же она противоречила здравому смыслу, так как почему-то получалось, что этот закон справедлив только для света. Если едешь на велосипеде и вдруг видишь разъяренного быка, то, прямо скажем, очень важно и даже судьбоносно, куда ты едешь

¹⁰ «Мост над бурной рекой» (*Bridge over Troubled Water*) – знаменитый хит Саймона и Гарфункеля. – *Примеч. перев.*

– навстречу взбешенному животному или от него. С другой стороны, *с* есть *с*, куда бы ты ни двигался – в сторону источника света или от него.

Приведем еще более яркий пример (на тот невероятный случай, если вам до сих пор не очевидно, насколько все это странно). Вы светите лазерной указкой на некое высокотехнологичное измерительное устройство, а затем определяете, что фотоны (частицы света) выходят из лазерной указки со скоростью примерно 300 миллионов метров в секунду. Если при этом вы находитесь на хрустальном звездолете, который улетает от лазера со скоростью, равной половине скорости света, то есть 150 миллионов метров в секунду, и кто-то направляет лазерный луч на тот же детектор сквозь ваш звездолет, вы все равно определите, что луч летит со скоростью света.

Разве такое может быть?!

Чтобы это объяснить, надо поближе познакомиться с героем физической науки, чемпионом мира в весе фотона¹¹ – с самим Альбертом Эйнштейном.

¹¹ Поняли, в чем соль?

II. С какой скоростью летит луч света, если бежишь рядом с ним?

Когда Эйнштейн в 1905 году обнародовал принципы специальной теории относительности, он сделал два простых предположения.

1. Как и Галилей, он предположил, что если двигаться равномерно и прямолинейно, можно проделывать какие хочешь эксперименты, и их результаты будут неотличимы от результатов таких же экспериментов в неподвижном положении.

(Ну, не совсем. Юристы советуют настаивать на том, что сила тяжести придает ускорение, а специальная теория относительности предполагает, что никаких ускорений нет. Есть определенные поправки, учитывающие силу тяжести, но в данном случае мы вправе преспокойно их проигнорировать. Поправка на силу тяжести в условиях Земли крайне, крайне мала в сравнении с поправкой на краю черной дыры, где без нее невозможно сделать осмысленные физические выводы.)

2. В отличие от Ньютона, Эйнштейн предположил, что все наблюдатели оценивают скорость света в пустом пространстве одинаково, независимо от того, движутся ли они. В нашем примере Рыжий швырял узелок и измерял его скорость, деля длину вагона на время, за которое узелок долетает до дальней стенки. Пачкуля сидел возле рельсов и смотрел, как поезд и узелок пролетают мимо, а поэтому видел, что узелок

за то же время пролетел дальше (вдоль вагона и вдоль того участка земли, который вагон за это время проехал). Пачкуля видел, что узелок двигался быстрее, чем наблюдал Рыжий.

Теперь рассмотрим тот же опыт с лазерной указкой. Если Эйнштейн был прав (а опыты Майкельсона и Морли еще за два десятка лет до него доказали, что так и есть), значит, Рыжий измерит, что лазерный луч движется со скоростью c , и Пачкуля намеряет ту же самую скорость.

Большинство физиков глазом не моргнув соглашаются, что c – константа, и пользуются ею направо и налево. В частности, они беззастенчиво эксплуатируют c , зачастую выражая расстояния через время, за которые свет покроеет эти расстояния. Например, световая секунда – это около 300 тысяч километров, то есть примерно половина расстояния до Луны. Естественно, чтобы покрыть расстояние в одну световую секунду, свету требуется одна секунда. Астрономы чаще пользуются термином «световой год» – это 9 460 528 177 426,82 километра, примерно четверть расстояния до ближайшей звезды.

Теперь давайте сделаем предыдущий пример еще более фантастическим и подарим нашему бродячему физику межгалактический товарный вагон. Длинной вагон будет в одну световую секунду, и у Рыжего появляется не только уйма места, чтобы хорошенько потянуться после сладкого сна, но и возможность снова провести эксперимент с лазером. Он

стреляет из лазерной пушки с одного конца вагона, и, по его соображениям, лазеру требуется одна секунда, чтобы пролететь вагон из конца в конец. Иначе ведь и быть не может – ведь свет движется со скоростью света (еще бы)!

Однако Пачкуля наблюдает лазерный луч в движущемся поезде и говорит (справедливо), что пока луч летел, передняя стенка вагона тоже двигалась, а следовательно, согласно Пачкуле, луч пролетел дальше, чем по расчетам Рыжего. То есть Пачкуля обнаруживает, что луч пролетел всего 1,5 световые секунды. Поскольку свет должен двигаться со скоростью света, Пачкуля делает вывод, что вспышка света добиралась от лазера до цели 1,5 секунды.

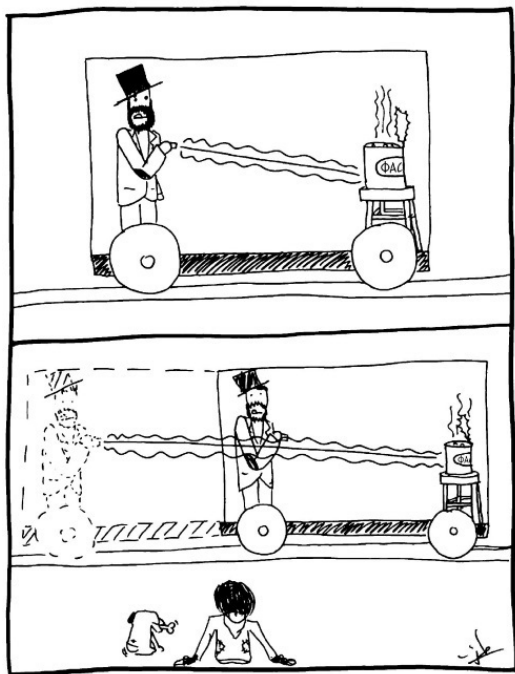
Еще раз: Рыжий говорит, что определенная последовательность событий (лазер испускает луч, а затем луч достигает цели) заняла одну секунду, а Пачкуля говорит, что та же последовательность событий заняла больше времени. У обоих есть замечательные сверхточные часы, сделанные в одном и том же межгалактическом депо для бродячих физиков. Оба проделали все измерения и вычисления одинаково точно. Кто прав?

Оба¹².

Нет, правда. Если скорость света одинакова для Рыжего и Пачкули, значит, Пачкуля должен объяснять то, что он наблюдает, тем, что у него спешат часы – или что у Рыжего часы отстают. Самое непостижимое, что отстают *все часы* в

¹² ЧЕГО?!

поезде Рыжего. Пачкуля видит, что маятники качаются медленно, часы тикают медленно, и даже сердце Рыжего бьется медленнее обычного (если есть чем это измерить).



Это общий закон. Когда вы видите, как мимо кто-то проносится, имейте в виду, что, с вашей точки зрения, часы у них будут идти медленнее, просто у вас нет достаточно точ-

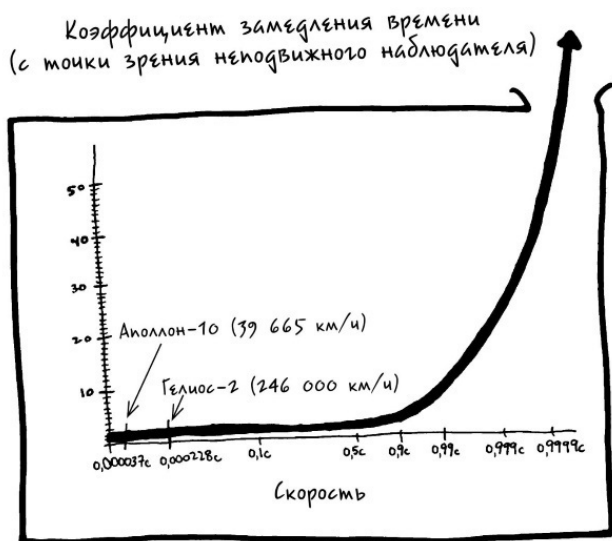
ных часов, чтобы это доказать. Если вы поднимете голову и увидите, что над вами летит самолет со скоростью около 1000 километров в час, а зрение у вас, предположим, настолько острое, что вы разглядите часы пилота, то вы увидите, что его часы идут медленнее ваших, но всего лишь на одну десятитриллионную долю! Иначе говоря, если бы пилот летел сто лет, к концу этого срока он был бы моложе, чем ему было бы положено, на целую секунду. Так что хотя этот закон (закон замедления времени) действует всегда, на самом деле в обычной жизни вы его никогда не заметите.

Замедление времени начинает сказываться в полной мере, только когда движешься со скоростью, близкой к скорости света. Приводить формулу мы не станем, так что поверьте нам на слово, что мы все подсчитали точно. Если поезд едет со скоростью в половину скорости света, то за каждую секунду на часах Рыжего проходит 1,15 секунды на часах Пачкули. При 90 % скорости света на каждую секунду Рыжего Пачкуля насчитает 2,3 секунды. А при 99 % скорости света соотношение станет 7 : 1. И чем ближе скорость приближается к c , тем больше это соотношение¹³. Когда поезд разгоняется до c , фактор замедления времени становится бесконечным, что и служит лишним подтверждением, что путешествовать со скоростью света невозможно.

И дело не только во времени. Пространство ведет себя ни-

¹³ Как и вероятность того, что Рыжий выйдет из своего вагона на планету, населенную сверхинтеллектуальными, подлыми, грязными обезьянами.

чуть не лучше. Давайте представим себе, что Рыжий идет по вагону по направлению к ближайшей станции со скоростью, представляющей собой заметную долю скорости света. Представим себе также, что Пачкуля устроился вздремнуть на этой станции. Так вот, с собственной точки зрения, Рыжий проходит это расстояние за более короткое время, чем с точки зрения Пачкули. Поскольку оба они согласны, что поезд приближается к станции с одной и той же скоростью, Рыжий, должно быть, считает, что общее расстояние до станции короче.



Время и пространство на самом деле зависят от того, как вы двигаетесь. Это не оптическая иллюзия, не психологический парадокс – так устроена Вселенная.

III. Если летишь в звездолете со скоростью, близкой к скорости света, какие ужасы ждут тебя по возвращении?

Казалось бы, это пустое любопытство, однако ученые нашли способ провести интересные исследования на основе этого феномена. В качестве примера грандиозных открытий, касающихся устройства Вселенной, приведем скромный мюон. Никогда о таком не слышали? Не ваша вина. Если разживетесь мюоном, дорожите временем, которое вы сможете провести в его обществе, поскольку в среднем мюоны живут около миллионной доли секунды (за это время луч света проходит меньше километра, а актерская карьера рэпера по имени Ванилла Айс достигает пика и завершается), а затем они распадаются на что-то совершенно другое.

Учитывая то, откуда они берутся и как долго пребывают с нами, нельзя сказать, чтобы мюонов было так уж много. Формируются они так: сначала космические лучи входят в верхние слои атмосферы и создают частицы под названием пионы (не путать с садовыми цветами), которые живут еще меньше и распадаются на мюоны. Все это происходит примерно в 15 километрах над поверхностью Земли. Поскольку двигаться быстрее света невозможно, а ближайшие мюоны

пробегают за свою жизнь меньше километра, здравый смысл подсказывает, что до Земли они не добираются.

Здравый смысл снова вас обманывает¹⁴. Энергия мюонов так высока, что многие из них двигаются со скоростью 99,999 % скорости света, а значит, что для нас, наблюдателей, стоящих на земле, «часы» внутри мюонов – то, что подсказывает им, когда пора распасться, – замедляются раз в 200 или около того. Вместо того чтобы до распада пролететь меньше километра, они способны до распада пробежать почти 200 километров – а этого с избытком хватает, чтобы достичь Земли.

Быть может, более понятным примером станет так называемый парадокс близнецов. Так вот, позвольте представить вам близняшек Эмили и Бонни, которым 30 лет. Эмили решает отправиться к далекой звезде, садится в звездолет и улетает со скоростью 99 % скорости света. Год спустя ей становится скучно и одиноко, и она возвращается на Землю – опять же со скоростью 99 % от c .

Однако, с точки зрения Бонни, часы Эмили (и стенные, наручные, и пульс, и все прочее) все это время были замедленны. Эмили отсутствовала не два года, а целых 14! Как ни верти, это правда. Бонни стукнет 44, а Эмили – 32. Можно даже считать движение со скоростью, близкой к скорости

¹⁴ Зато вы пойдете домой с этой книгой в качестве утешительного приза. И никто, кроме вас, не узнает, какой вы мастер догадываться, если, конечно, не заглядывает сейчас в книгу вам через плечо.

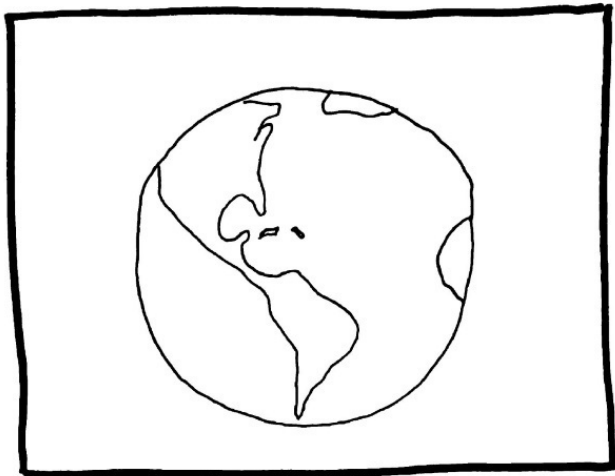
света, своего рода путешествием во времени, только путешествовать вы все равно будете в будущее, а не в прошлое.

Будут и другие, не такие яркие последствия. Например, поскольку, с точки зрения Бонни, Эмили летела прочь от Земли в течение семи лет со скоростью, близкой к скорости света, значит, она должна была пролететь семь световых лет от Земли и только потом передумала и вернулась. Значит, она пролетела почти всю дорогу до звезды Wolf-359, пятой по близости к нашему Солнцу. Однако, с точки зрения Эмили, нельзя двигаться быстрее света, так что за год она прошла только расстояние в 99 % светового года. Иначе говоря, в пути она оценивает расстояние между Солнцем и Wolf-359 всего в один световой год.

Это явление известно как «сокращение длины». Как и замедление времени, сокращение длины – не оптическая иллюзия. Двигаясь со скоростью 99 % скорости света, Эмили наблюдает, что все, что расположено вдоль направления ее движения, сокращается в длину в семь раз. Земля покажется ей сплюсненной, а Бонни – тощей, как щепка, но при этом она будет нормального роста и, так сказать, глубины.

В повседневной жизни мы не замечаем этого явления так же, как и сокращения времени. Если наш друг-пилот решит взглянуть, что делается внизу, улицы, над которыми он будет пролетать, будут несколько уже, чем обычно, но даже при полете на скорости 1000 километров в час разница составит примерно 0,04 % величины атома. При помощи теории от-

носительности легко объяснять диковинные явления, происходящие на очень высоких скоростях, однако очевидно, что здорового питания и физкультуры она не заменит.



ЗЕМЛЯ. ОБЫЧНЫЙ ВИД



ЕСЛИ ОНА НЕ КРУГЛАЯ, ЗНАЧИТ,
ВЫ ЧИТАЕТЕ СЛИШКОМ БЫСТРО

Замедление времени и сокращение длины наблюдаются симметрично, когда Бонни смотрит на Эмили и когда Эмили смотрит на Бонни. Тут и таится парадокс. Когда Эмили спускается с трапа своего звездолета, вернувшись на Землю после полета на Wolf-359, все единодушно говорят о том, что она постарела всего на два года, а Бонни – на целых 14. Это категорически противоречит чуть ли не всему, что мы с вами только что обсуждали, потому что мы сразу понимаем, что «двигалась» именно Эмили, а не Бонни, а первое прави-

ло, которое нам внушают, заключается в том, что невозможно различить, кто двигался, а кто был неподвижен. Как же нам разрешить этот парадокс?

Мы уже познакомили вас с одним правилом, которое говорит, включились ли в действие законы специальной теории относительности или нет: чтобы специальная теория относительности заработала, нужно двигаться равномерно и прямолинейно. А чтобы расставить все по местам, мы вам скажем с определенностью: нет, Эмили двигалась иначе. Чтобы улететь от Земли, ей нужно было взлететь и набрать скорость (подвергнувшись при этом чудовищным перегрузкам из-за ускорения), а добравшись до Wolf-359, ей пришлось сбросить скорость и развернуться, а затем – еще раз сбросить скорость, когда она садилась на Землю.

Если учитывать все эти ускорения, ничего нельзя утверждать с определенностью, и для описания происходящего нужна гораздо более сложная теория. Это видно даже из истории вопроса: Эйнштейн выдвинул специальную теорию относительности (без учета ускорений) в 1905 году, а общую теорию относительности (которая учитывает гравитацию и другие разновидности ускорения) разработал лишь к 1916 году.

IV. Можно ли развить скорость света (и поглядеть на себя в зеркало)?

Мы ушли страшно далеко от первоначального вопроса, и это никуда не годится, потому что это очень хороший вопрос – настолько хороший, что его задавал себе сам Эйнштейн. Однако вам, наверное, кажется, что мы ничуть не приблизились к ответу на него.

*Au contraire!*¹⁵

Ответ будет состоять из двух частей, и одну из них вы уже готовы сформулировать (и даже уже сформулировали). Вспомним старину Рыжего и его поезд. Теперь представим себе, что поезд Рыжего едет со скоростью 90 % скорости света (или с любой другой скоростью на ваш выбор). Однако Рыжий ничего вокруг не замечает, потому что лихорадочно прихорашивается перед свиданием с красоткой Лили по прозвищу Окорочок. Не заметит ли он, глядя в зеркало на свою симпатичную физиономию, что чего-то не хватает? Нет, не заметит. Поскольку в его вагоне нет окон, а движется он равномерно и прямолинейно, нет никакого эксперимента, который показал бы ему, что он движется, а не стоит на месте. Пока зеркало движется вместе с Рыжим, он выглядит совершенно так же, как если бы никуда не ехал.

¹⁵ Совсем наоборот! (*фр.*)

Все это прекрасно и правильно, пока Рыжий движется медленнее света, но что будет, если он движется со скоростью света? Да-да, мы понимаем, мы сами говорили, что двигаться со скоростью света никому не удастся, поэтому, вероятно, вы могли бы поверить нам на слово и тем удовлетвориться. Но зачем?

Поясним на примере. Пачкуля, завидуя успеху, который Рыжий имеет у дам, наблюдает за тем, как тот готовится к свиданию. Конечно, ему надо следить очень внимательно, ведь поезд Рыжего несется со скоростью 90 % скорости света. Трагедия происходит в тот момент, когда у Рыжего звонит мобильник (только не спрашивайте, каким образом прошел сигнал) – это Лили сообщает, что не придет. Лили говорит очень ласково, но Рыжий все равно ужасно расстроен – он хватает еще тепленькую банку фасоли и швыряет ее в переднюю стенку вагона со скоростью 90 % скорости света (с его точки зрения).

Вероятно, Пачкуля вне себя от радости, точнее, от злорадства, но это не мешает ему отметить, с какой скоростью летит банка фасоли. В годы беспечной юности он бы предположил, что фасоль летит со скоростью $1,8\ c$ – скорость поезда ($0,9\ c$) плюс скорость банки ($0,9\ c$). Но он давно оставил подобные глупости.

Вспомним два факта.

1. Пачкуля видит, что часы Рыжего замедлились (в данном случае в 2,3 раза).

2. Пачкуля видит, что поезд Рыжего сжался (в данном случае опять же в 2,3 раза).

Конечно, детали тут не так уж важны, но вот что Пачкуле представляется существенным:

1) фасоли нужно гораздо больше времени, чем утверждает Рыжий, чтобы долететь от руки Рыжего до стены и расплющиться об нее;

2) фасоль пролетает куда меньшее расстояние, чем утверждает Рыжий.

Главное – то, что фасоль летит гораздо медленнее, чем говорят наши (и Пачкулины) наивные первоначальные оценки. Банка летит со скоростью не $1,8\ c$, а жалкие $99,44\ %$ скорости света.

Играть в эту игру можно до бесконечности. Например, представьте себе, что на банке сидит муравей. У муравья большие планы, касающиеся царицы его муравейника, но тут она сообщает ему, что должна остаться дома, чтобы вычистить панцирь. В гневе муравей швыряет комочек пищи со скоростью $0,9\ c$ (с его точки зрения) в сторону передней части поезда. Пачкуля, обладающий невероятно острым зрением, увидит, что крошка движется со скоростью $99,97\ %$ скорости света.

А на крошке живет амеба, которая ждала на свидание саму себя, поскольку размножается делением, безо всякого секса... в общем, сами понимаете.

Как бы мы ни старались, сколько бы ни повторяли наши

воображаемые опыты, сколько бы банок и крошек ни бросали, мы так никогда и не достигнем скорости света. Будем бесконечно приближаться к ней – и все тут.

Кроме того, чем ближе мы к скорости света, тем труднее заставлять предметы двигаться быстрее. Кажется, что разогнать предмет до скорости в 99 % скорости света требует вдвое больше работы, чем до 50 % скорости света; на самом же деле работы потребуются вшестеро больше. А для того чтобы всего-навсего разогнаться с 99 % скорости света до 99,9 %, потребуются втрое больше работы.

Итак, теперь можно поработать и над вопросом шестнадцатилетнего Эйнштейна¹⁶: что произойдет, если двигаться со скоростью 99 % скорости света и посмотреть на себя в зеркало? Ничего – или по крайней мере ничего особенного. Ваш звездолет будет выглядеть как обычно, ваши внутренние часы, с вашей точки зрения, будут идти как всегда. И физиономия будет все той же. Единственное, что бросится вам в глаза, – это то, что у ваших друзей, оставшихся дома, сердца, часы, корпоративные календари и прочие приборы для измерения времени замедлились в семь раз против обычного. И к тому же все предметы сплющились под воздействием неведомого фактора.

Можно сделать еще шаг вперед и задать вопрос, изменится ли что-нибудь, если посмотреть в зеркало на скорости

¹⁶ То есть над тем вопросом, который нам известен. Дети в этом возрасте такие почемучки...

99,9 % скорости света. Замедление времени и сокращение длины будут чуть больше (в 22 раза, а не в 7), а так все то же самое.

Беда в том, что все эти скорости крайне близки к скорости света, но все же не дотягивают до нее. Каждое крошечное дополнительное ускорение требует все больше и больше энергии, а для того чтобы в самом деле разогнаться до c , потребуется бесконечное количество энергии. Не очень большое, просим отметить, а именно *бесконечное*.

Быть может, вам этого мало. Если вам удастся как-то разогнаться до скорости света (невзирая на то, что это невозможно), свет от вашего лица так и не дойдет до зеркала, а значит, вы, как заправский вампир, не увидите собственного отражения. Мало того! Сам факт, что вы не увидите своего отражения, и докажет, что вы достигли скорости света. Но поскольку вы уже точно знаете, что никто не может сказать, стоит он или движется, это лишнее доказательство, что разогнаться до скорости света невозможно.

V. А разве относительность не придает атомам бесконечную энергию?

Все эти разговоры о часах и эталонах метра и скорости света, возможно, интересны и сами по себе, но, наверное, когда (и если) вы задумываетесь об относительности, в голову вам первым делом приходят некоторые другие вопросы. Почти наверняка вы думаете при этом о самой знаменитой физической формуле (и единственной, которую вы встретите в этой книге в явном виде):

$$E = mc^2 .$$

Выглядит она крайне просто, к тому же вы уже познакомились с одной из ее составляющих – это c , скорость света.

Буква E в левой части обозначает энергию, и мы совсем скоро поговорим о том, при чем тут энергия, но сначала обсудим другую составляющую – m , то есть массу.

Вероятно, вам кажется, что масса – это мера «величины» предмета, но для физика масса всего-навсего отражает то, насколько трудно заставить предмет двигаться и насколько трудно остановить его, если он уже движется. Гораздо проще остановить Рыжего, если он бежит на вас со скоростью

15 километров в час, чем его поезд, если он едет с той же скоростью.

Но мы уже заметили одну интересную вещь, касающуюся эффективной массы – в данном случае эффективной массы консервных банок с фасолью. Мы обнаружили, что чем выше скорость банки, тем больше работы требуется, чтобы разогнать ее хоть чуточку быстрее. Иначе говоря, банка с фасолью ведет себя так, словно становится все более и более массивной (то есть ее все труднее и труднее двигать). А как мы уже отметили, если скорость банки приближается произвольно близко к скорости света, впоследствии потребуется бесконечное количество работы, чтобы придать банке хоть какое-то ускорение.

Посмотрим с другой стороны: при увеличении энергии движения инерционная масса тоже увеличивается, то есть материя банки не прирастает, но банка ведет себя так, словно это происходит. Но даже если скорость банки снизится до нуля, то есть энергии движения не будет вообще, инерция банки никуда не денется. Если банка с фасолью совершенно неподвижна, она все равно обладает определенным количеством энергии, некоторой минимальной инерционной массой. Если добавлять энергию, то инерционная масса только увеличивается.

Знаменитое уравнение Эйнштейна – не более чем формула преобразования массы в энергию и обратно.

У этой формулы широчайший спектр самых удивитель-

ных применений, и мы буквально видим ее отражение каждую секунду всю жизнь — в солнечном излучении.

Теория Эйнштейна, по всей видимости, находит успешное применение на практике, однако, кроме того, она необычайно сильно повлияла на общественное сознание, особенно на сознание тех, кто ее не понимает.

Один из уважаемых авторов этой книги (Голдберг), будучи действующим ученым, часто получает рукописи, сочинители которых заявляют, будто разработали теорию, которая опровергает существующие физические парадигмы, и в девяти случаях из десяти главный их тезис — что великое уравнение Эйнштейна ошибочно, что его логика ущербна или просто что математически допустимо другое толкование. Этот феномен настолько распространен и наблюдается настолько часто (причем со временем все чаще), что даже спустя 100 лет после того, как Эйнштейн опубликовал свою формулу, в журнале «Америкэн Лайф» появилась статья о человеке, который (безуспешно) попытался доказать, будто E не равно mc^2 .

Почему же простая формула преобразования вызывает такой ажиотаж? Отчасти потому, что она так проста на вид. Никаких незнакомых буковок, к тому же большинство людей в общих чертах понимают физический смысл всех ее составляющих. И она действительно очень простая. Как будто нам говорят: «Вот хочу продать мою материю и получить энергию. Сколько дадите?»

Ответ: «Довольно-таки много». Дело в том, что, как мы уже установили, c – большое число, а мы еще возводим его в квадрат и умножаем на него массу.

Начнем с малого. Представим себе, что у вас есть около двух граммов буммония – это такое вещество, которое мы только что придумали, так что имеем право запатентовать и употреблять его название. Это примерно масса монетки в один пенни, и вам каким-то образом удастся превратить ее в энергию. Если бы такое было возможно, а мы вас уверяем, что нет, вы бы получили около 180 триллионов джоулей. Не представляете себе, сколько это? Не проблема, объясним.

Такая энергия позволит вам:

- 1) сделать так, чтобы 50 тысяч стоваттных лампочек горели целый год;
- 2) с лихвой обеспечить калориями все население городка Терре-Хот в штате Индиана (с населением 57 259 человек) на целый год;
- 3) заменить энергию примерно 5000 тонн угля или 6 356 000 литров бензина. Если заправить этим бензином автомобиль, можно перевезти на нем всех до единого жителей Терре-Хот из Нью-Йорка в Калифорнию. Непонятно, правда, зачем это делать.

Для сравнения, энергия сгорания двух граммов угля питает одну лампочку примерно час.



— СОГЛАСНО МОИМ ВЫКЛАДКАМ,
ЭНЕРГИИ У ВАС ХОТЬ ОТБАВЛЯЙ!

Материя, как и большинство людей, не развивает свой потенциал полностью, а если не считать случаи, когда мы сталкиваем материю с «антиматерией» или «антивеществом» (о чем мы еще поговорим), преобразовать всю массу в энергию невозможно. Так что не считайте, будто от $E = mc^2$ один шаг до полной независимости от нефти, остановитесь. Рано радоваться.

Великое уравнение Эйнштейна изменило мир: самые очевидные примеры его применения – ядерное оружие и атомная энергия. Важно понимать, что при большинстве ядерных реакций мы преобразуем в энергию лишь крошечную

часть общей массы материи. Наше Солнце – гигантский термоядерный генератор, который превращает водород в гелий. Основная реакция предполагает, что мы берем четыре атома водорода и получаем один атом гелия и некоторое количество отходов, в том числе нейтрино, позитроны и, само собой, энергию в виде света и тепла. Для нас это крайне выгодно – ведь энергия, вырабатываемая Солнцем, в виде солнечных лучей согревает поверхность Земли, питает растения и водоросли и в конечном счете поддерживает нас как экосистему.

Однако по эффективности всему этому далеко до нашего буммения. Из каждого килограмма водорода, «сгорающего» на Солнце¹⁷, мы получаем 993 грамма гелия, а значит, в энергию преобразуется лишь семь граммов. Однако, как мы уже видели, и небольшой массы хватает для великих дел.

Самые известные примеры преобразования массы-энергии – это именно превращение массы в энергию, а не наоборот, в том числе самые страшные из этих превращений и вообще главный кошмар на этой Земле – ядерные бомбы и радиоактивный распад. В каждом из этих случаев столкновение энергичных частиц или спонтанный распад заставляет небольшое количество массы преобразоваться в ошеломительно огромную энергию. Почему радиоактивные вещества

¹⁷ Физики обожают напоминать, что при ядерных реакциях никакого горения не происходит. Горение – это не ядерный, а химический процесс, и для него нужен кислород.

такие страшные? Потому, что даже при одном распаде образуется фотон с такой колоссальной энергией, что дай ему хоть малейший шанс, и он попортит вам клетки.

Когда Вселенная только зародилась, в ней гораздо чаще происходил обратный процесс – из энергии получалась материя, хотя сейчас такое бывает довольно редко. В те далекие времена, когда температура достигала миллиардов градусов, материя то и дело возникала от столкновения лучей света друг с другом. Невероятно, но факт. Вот почему мы вернемся к этому в главе 7.

Хит-парад среди физиков!

Кто самый выдающийся физик современности? Горячая пятерка!

Нас то и дело вовлекают в досужие споры на уровне «кто лучше – Кирк или Пикар?» или «кто самый лучший физик?». Если ответ на первый вопрос очевиден для всякого, кто хотя бы одним глазом смотрел «Звездный Путь» и при этом не *йинтагх*¹⁸, то второй вопрос куда сложнее. Если бы спор был на деньги, мы бы отстаивали ту точку зрения, что величайшие физики – те, в чью честь называли что-нибудь важное и серьезное, даже если кто-нибудь другой уже пришел независимо к тому же выводу. Иногда величайшие мыслители не устаиваются заслуженной славы (мы думаем о вас, Тесла), но наш

¹⁸ «Идиот» по-клингонски. Не бейте нас тапком.

список такие случаи, увы, не учитывает – считайте, что таким людям просто не повезло. Нас интересуют именно знаменитости. Кроме того, поскольку мы хотим не отставать от жизни, то, к сожалению, не будем рассматривать заявки от тех, кто совершил самые значительные открытия до 1900 года. Наконец, мы уверены, что многие физики не согласятся с нашим списком, но им мы со всем нашим уважением предложим написать собственную книгу.

Итак:

1. Альберт Эйнштейн (1879–1955),

Нобелевская премия за 1921 год.

Нужны ли здесь какие-либо аргументы? Эйнштейн создал теорию относительности – и специальную (эта глава), и общую (главы 5 и 6), – причем, судя по всему, на абсолютно пустом месте и совершенно самостоятельно. Он неопровержимо доказал, что свет состоит из частиц (глава 2), и стал одним из отцов-основателей квантовой механики, хотя сам в нее толком не верил. Его имя стало синонимом слова «гений», к тому же, положив руку на сердце, он единственный из нашего списка, кого вы знаете в лицо.

2. Ричард Фейнман (1918–1988),

Нобелевская премия за 1965 год.

Благодаря уникальному складу ума Фейнман стал героем и примером практически для каждого молодого физика. Он изобрел квантовую электродинамику,

которая при помощи квантовой механики объясняла, как устроено электричество (глава 4), и доказал, что частицы и поля буквально двигаются по всем возможным путям одновременно (глава 2). Кроме того, он прославился как «великий популяризатор», и по крайней мере несколько примеров из нашей книги беспардонно (но со ссылками) свистнуты из лекций Фейнмана.

3. Нильс Бор (1885–1962),

Нобелевская премия за 1922 год.

Довольно скоро вы прочитаете главу 2, которая будет посвящена квантовой механике. Вы ее обязательно полюбите! Даже если нет, ближе к середине главы мы расскажем, что стандартные представления о квантовой механике на настоящий момент называются «копенгагенской интерпретацией». Догадайтесь с трех раз, откуда Бор родом. Бор не только в общих чертах определил мировоззрение современного человека, но и первым создал реалистичную картину атома и показал, что как попало атом не сляпаешь – его состояния «квантуются».

4. Поль Адриен Морис Дирак (1902–1984),

Нобелевская премия за 1933 год.

Дирак был среди тех, кто продрался сквозь целую гору уравнений, получил формулу, которая на вид казалась физически абсурдной, но решил, что «Бог, создавая этот мир, опирался на математические

выкладки восхитительной красоты», и решил, что раз так, все эти уравнения все равно верны. Примерно так он и предсказал существование антиматерии за четыре года до того, как ее обнаружили.

5. Вернер Гейзенберг (1901–1984),

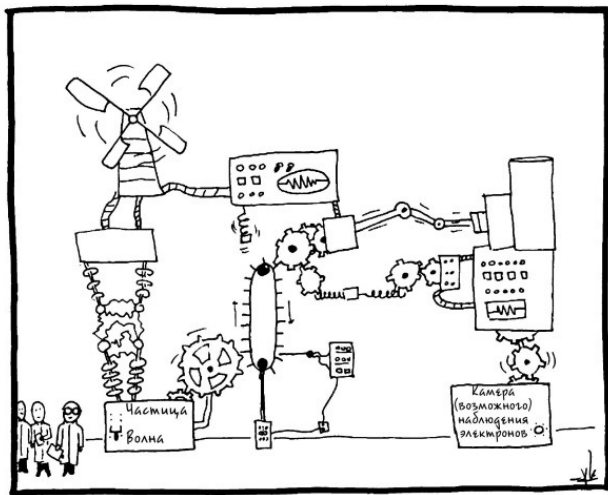
Нобелевская премия за 1933 год.

Когда Гейзенбергу присудили Нобелевскую премию, формулировка была такой: «За создание квантовой механики, применение которой, среди прочего, привело к открытию аллотропных форм водорода». Хотя на самом деле Гейзенберг не создал квантовую механику, он внес колоссальный вклад в ее разработку и открыл «принцип неопределенности Гейзенберга». Об этом подробнее в главе 2.

Глава 2

Квантовые странности

Так живой он или мертвый – шредингеровский кот?



КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Если вы хоть в чем-то похожи на нас, то ваше презрение к авторитетам сравнимо разве что с вашим же вкусом к жизни. Вы не подчиняетесь ничьим приказам и уж, конечно, ничего не принимаете на веру. Мы так хорошо вас понимаем –

ведь мы тоже бунтари-одиночки. Вот почему мы не отвечаем на ваши вопросы об устройстве Вселенной сакраментальным «потому что мы так сказали». Напротив, мы из кожи вон лезем, взывая к вашему здравому смыслу и повседневному опыту, чтобы они подтолкнули вас в нужном направлении.

С квантовой механикой это не получается. На здравом смысле тут далеко не уедешь, хотя вам, возможно, и покажется, будто вы летите с ветерком. Вас, словно Гензеля и Гретель, привлекут яркие цвета и простые ответы, которые вы получите, если выберете легкий путь. Считайте наши подсказки хлебными крошками, которые готовы повести вас по тайным лабиринтам квантовых странностей. Опустим ту часть, согласно которой нас склевали прожорливые птички.

«А что такого странного в квантовой механике?» – спрашиваете вы с беспечной улыбкой. Да, мы понимаем, вы стреляный воробей, в жизни у вас уже было буквально все, и вас уже ничем не обескуражить. А значит, вы не будете возражать, если мы попросим вас пройти один незамысловатый популярный тест¹⁹.

Старинный тест на классическую интуицию

Пожалуйста, постарайтесь отвечать честно. Если вы человек настолько искушенный, что ввязались в эту историю, уже зная кое-что о квантовой механике, нечестно притворяться, будто ваша интуиция щелкает

¹⁹ Если вы опустили глаза и обнаружили, что на вас пижама, значит, вам опять снится этот треклятый сон.

парадоксы, как орешки.

Вопросы:

1. Сочувствуете ли вы метаниям Роберта Фроста в стихотворении «Другая дорога»?

*В осеннем лесу, на развилке дорог,
Стоял я, задумавшись, у поворота;
Пути было два, и мир был широк,
Однако я раздвоиться не мог,
И надо было решаться на что-то.*

(Пер. Г. Кружкова)

2. Подумайте над дилеммой Гамлета: «Быть или не быть?». Так ли уж необходимо делать подобный выбор?

3. Если дерево падает в лесу, где никого нет, производит ли оно грохот?

Ответы:

Если вы ответили «да» на все три вопроса, поздравляем! По складу ума вы прекрасно приспособлены к жизни в классическом мире. Если же вы ответили «нет» хотя бы на один из них, то не прошли тест на классическую интуицию, зато, скорее всего, готовы вступить в квантовый мир.

Если вы прошли тест на классическую интуицию, то оказались в отличной компании. Сэр Исаак Ньютон (и его классические последователи) помог нам выстроить поезда, автомобили, даже космические корабли, – и все это основываясь на сильной классической интуиции. И если судьба не рас-

порядилась так, что именно вы конструируете микросхемы, можно ручаться, что практически все ваши повседневные действия соответствуют классической физике.

Но многое в природе скрыто от непосвященных, и, если приглядеться, окажется, что физическим миром на самом деле правит микроскопическое царство квантовой механики. Слово «квантовый» относится к следующему явлению: энергия электронов и прочих частиц не может иметь произвольное значение. Вот, например, лампочки бывают мощностью только 40, 60 и 100 ватт, а не, скажем, 93 ватта, – так и энергии микромира способны (ну, или должны) принимать только «квантованные» значения. Другая сторона понятия «квантовый» заключается в том, что иногда мы будем говорить о том, что все пространство заполнено чем-нибудь вроде, скажем, электрического поля. Но если взглянуть на ситуацию внимательнее, мы обнаружим, что поле можно разбить на отдельные частицы.

А при чем тут «механика»? Так, заполнить пустое место. Чтобы проиллюстрировать наши слова примерами, мы проведем некоторое время с двумя личностями, которые воплощают суть квантовых странностей: с доктором Джекилом и мистером Хайдом. Доктор Джекил – человек добрый, мягкосердечный и очаровательно предсказуемый, мистер Хайд – сущий дьявол и заслуживает презрения, с каким относятся разве что к серийным убийцам и любителям караоке.

Разумеется, вы должны знать, что доктор Джекил и ми-

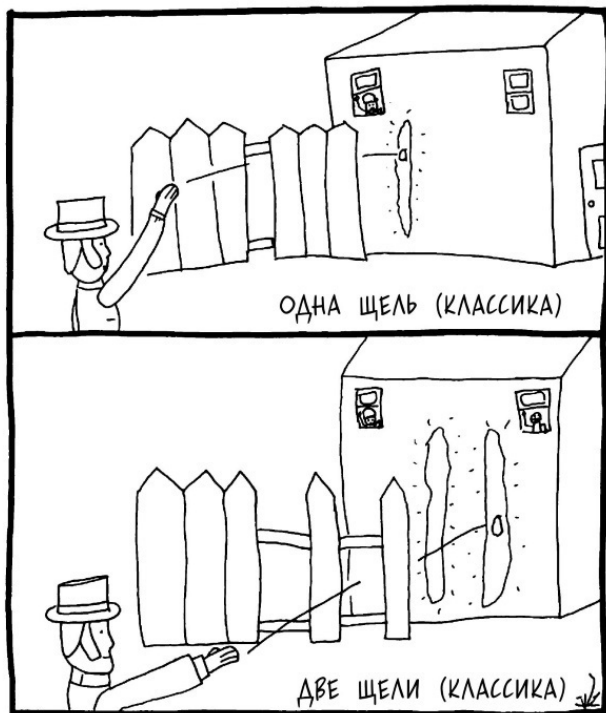
стер Хайд взаимоисключаящи. Мистер Хайд – это мерзкое уродливое существо, которое живет внутри доктора Джекила и выскакивает на поверхность, чтобы сеять смерть и разрушение²⁰. Неважно, почему это происходит – по воле случая, под настроение, в некий роковой предназначенный час, – так или иначе, Джекил превращается из благовоспитанного доктора в разъяренного социопата *мгновенно*.

Так вот, присоединимся к доктору Джекилу, который гуляет по свежевыпавшему снегу. Наслаждаясь морозным декабрьским воздухом, Джекил подходит к белому штaketному забору, где не хватает одной дощечки. Доктор Джекил не чужд невинным забавам и любит простые радости, поэтому он отходит на несколько футов и начинает бросать снежки. Многие снежки попадают в забор (ведь доктор Джекил прежде всего ученый, и меткость никогда не была его сильным местом), но некоторым все-таки удастся пролететь в щель в заборе и разбиться о домик, который стоит в отдалении. Как нетрудно догадаться, при этом получается простой узор. На стене дома образуется неряшливая, однако четко различимая вертикальная линия.

Доктору Джекилу становится скучно бросать снежки в такую простую мишень, и он бродит по окрестностям, пока не находит забор, где не хватает двух штaketин, так что в нем две щели. Тогда доктор снова начинает бросать снежки один за другим и – бух! шлеп! – одни пролетают в левую щель,

²⁰ Примерно как прыщ перед выпускным балом.

другие – в правую, третьи попадают в забор. Глядя в щели на стены дома, доктор видит две четкие линии из снега и льда. Можно с большой долей уверенности сказать, что комья снега слева прилетели из левой щели и наоборот.



Эксперимент с двойной щелью доктора Джекила основан

на схеме, предложенной английским физиком Томасом Юнгом, и в данном случае ясно иллюстрирует поведение частиц. Делаем в заборе одну щель – получаем одну снежную линию, вводим вторую щель – получаем вторую линию. Тот же эксперимент можно проделать с камнями или тортиками и получить совершенно такой же результат. Главное – результаты экспериментов доктора Джекила очевидны, предсказуемы и прекрасно соответствуют здравому смыслу и интуиции. Если какой-нибудь бобби²¹ увидит, что доктор Джекил бросается снежками в частный дом, и бросится в погоню, то в ее начале мы будем точно знать, где находится каждый из них. Подобным же образом, если доктор Джекил свернет в переулок, мы будем точно знать, где он находится. Поскольку мы можем измерить длину городских кварталов и засечь, сколько времени бежит доктор Джекил, мы сумеем также вычислить, с какой скоростью он бежит.

Вот что значит поведение, подобающее джентльмену – и частице.

И что? Ничего сенсационного мы не рассказали. Но что будет, если мы снимем розовые очки классической механики и посмотрим на ситуацию без них? Мы обнаружим эквивалент доктора Джекила, который *и* сворачивает в проулок, *и* бежит дальше по улице – и бросает снежок *сразу в две щели* в заборе.

²¹ Если вы не англичанин, он известен вам как офицер полиции.

I. Из чего состоит свет – из крошечных частиц или из большой волны?

Теперь мы опять будем убеждать вас в вашей способности понимать классический мир и лишь затем углубимся в мир микроскопический, где правит квантовая механика. Прежде всего рассмотрим луч света. Если вы посветите фонариком в зеркало, что вы увидите? Разумеется, луч света, только это не объясняет, как свет добрался от фонарика к вашим глазам.

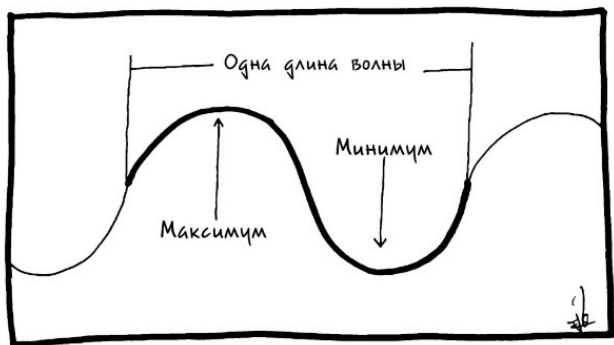
Ньютон в XVII веке заявил, что свет, судя по всему, состоит из отдельных частиц света, так называемых фотонов. При помощи призм он разложил белый свет на разные цвета, которые назвал основными компонентами света. Кроме того, он предположил, что частицы света отлично помогают легко и просто объяснить интересные оптические явления.

Примерно в это же время голландский физик Кристиан Гюйгенс пришел к прямо противоположному выводу. Он показал, что если мы представим себе, что свет исходит из одной точки, примерно как круги по воде, если бросить в пруд камушек, то сможем объяснить все световые явления. Он утверждал, что свет ведет себя как волна.

Чтобы вы сполна прочувствовали, насколько это заковы-

ристая дихотомия, надо объяснить, что такое волна.

Наверняка вы уже видели волны – в море или, скажем, в собственной ванне. Водяные волны в ванне, звуковые волны в воздухе и световые волны обладают общими параметрами – амплитудой, скоростью, длиной волны.



Размах между самой высокой и самой низкой точкой волны (амплитуда) показывает, насколько волны сильные. Чтобы вы слушали любимую группу по коротковолновому радио, звук нужно преобразовать в серию волн и направить из радиопередатчика. Амплитуда радиоволн контролирует силу сигнала, а следовательно, то, насколько чистой будет мелодия, которую вы услышите.

Кроме того, у волн есть скорость распространения. Радиосигналы – всего лишь разновидность световой волны, а свет

всегда движется со скоростью 299 792 458 метров в секунду. Это не только потому, что диджеи понимают, насколько вы страдаете без привычной классики рока²². Когда радиоволна достигает вашей антенны, она преобразуется в звуковую волну (которая создается движением мембран в динамиках), а звуковая волна бьет вас в лицо со скоростью примерно 340 метров в секунду. Это означает, что за редкими исключениями радиосигналу требуется меньше времени, чтобы добраться от передатчика радиостанции до вашего радиоприемника, чем звуковой волне – чтобы добраться от динамика до вашего уха.

Наконец, есть еще длина волны – расстояние между соседними максимумом и минимумом, а заодно и характеристика цвета и энергии волны. Видимый свет имеет длину волны немного меньше одной тысячной доли миллиметра. Волны с более низкой энергией, например радиоволны, имеют длину больше сантиметра. Волны с более высокой энергией, например рентгеновские лучи, имеют длину волны 10^{-11} метра, а у гамма-лучей энергия еще выше. Их лучше избегать, поскольку, дай им волю, они сразу же наградят всех, до кого дотянутся, сверхъестественными способностями²³.

Кажется, что эти две картинки – волна и частица – очень разные. С другой стороны, оказывается, обе предсказывают

²² Еще как понимают.

²³ Вот, скажем, Халк («Фантастическая четверка») черпает силу не в рентгеновских, а в космических лучах, о которых мы поговорим в следующей главе.

в точности одно и то же. Например, мы знаем, что если по-светить на зеркало, то свет отразится от зеркала и будет вос-принят глазом.

Отражение очень легко объясняется представлением о ча-стицах. Если вы хоть немного похожи на нас, то распростра-ненная игра «погонять мяч с ребятами» сводится для вас к бросанию теннисного мячика в дверь гаража. Вялая подача, громкий «бум» и неловкий отскок – и мячик снова у вас в руке. Если вы сосредоточитесь очень сильно, то, вероятно, вспомните, как вам объясняли про мячик: «Угол падения ра-вен углу отражения». А может быть, и нет. Может быть, если вы сосредоточитесь очень сильно, вы услышите главную те-му из «Индианы Джонса». Тогда поверьте нам на слово. Вы знаете все об отражении фотонов. Если вы замените теннис-ный мячик фотоном, а гаражную дверь – зеркалом, то пре-красно опишете свет.

Разумеется, волна отражается точно так же. Представь-те себе устройство скрипки или концертного зала. Акусти-ка как таковая определяется тем, что происходит со звуко-вой волной, когда она отражается от стен комнаты или дру-гого пустого пространства. Причем в точности как в случае с частицей отражение света подчиняется волшебному соот-ношению – «угол падения равен углу отражения».

Представляется, что все эти споры о частицах и волнах не более чем софистика: ведь обе гипотезы объясняют отраже-ние совершенно одинаково. Но не беспокойтесь – волны и

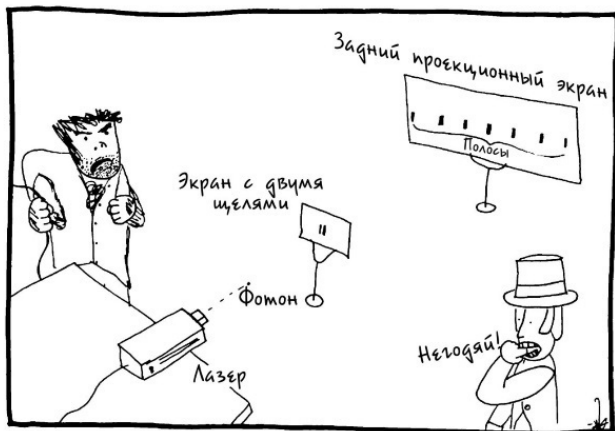
частицы объясняют одинаково отнюдь не все явления.

Для нас (и для Гюйгенса) волна интересна и полезна тем, что две волны способны интерферировать друг с другом. Бросьте в спокойный пруд пару камешков – и вы поймете, что мы имеем в виду.

Физические феномены можно объяснять как угодно, но они не отвечают на важный вопрос: из чего состоит свет – из электромагнитных волн или из частиц? Этот спор тянулся сотни лет, до самого XX века, когда было объявлено, что победила дружба, – примерно как в конкурсе самодеятельности в детском саду. Чтобы понять, как это происходит, вернемся к нашему герою – мистеру Джекилу.

После утомительного дня, посвященного бросанию снежков и невинным шуткам со стражами правопорядка, доктор Джекил возвращается домой, где у него устроена лаборатория, чтобы предаться новым экспериментам. Поскольку там у него в распоряжении имеются более цивилизованные научные аппараты, он может провести опыт Юнга с двойной щелью как положено. То есть вместо заборов и снежков он берет экран с тонкой вертикальной щелью и светом из лазерного источника. За передним экраном стоит задний проекционный экран, на котором мы видим световые узоры. Ну, как вы думаете, что увидит доктор Джекил?

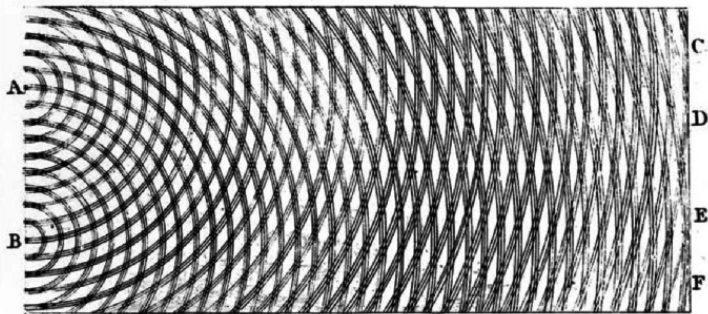
Тут и думать нечего. Он увидит на дальнем экране яркую вертикальную линию.



С другой стороны, если он прорежет в переднем экране две щели, картина несколько усложнится.

Тут доктор Джекил обнаруживает, что в нем пробудился зверь – мистер Хайд. Свет проходит сквозь обе щели, и волна из одной интерферирует с волной от другой, отчего на проекционном экране появляется сложный узор.

Вот как выглядел сверху аппарат с двумя щелями, согласно оригинальным заметкам Юнга.



Свет проходит сквозь щели А и В, достигает противоположного экрана и создает яркие пятна в точках С, D, Е и F (а также в точках выше и ниже, где Юнг обрывает схему). Знакомая картина? Как будто вы бросили камешки в пруд в точках А и В? Просто это более точная версия того, как выглядят интерферирующие между собой волны.

Даже если вы ничего не вынесете из этой дискуссии, вы должны знать, что множество ярких линий – верный признак того, что мы имеем дело с интерференцией. Чтобы интерферировать друг с другом, лучи света должны проходить и через правую, и через левую щели одновременно, а иначе у нас не получится сложного рисунка, который мы видим на противоположном экране.

В отличие от отражения, получить интерференцию от частиц никак не получается. Если взять в каждую руку по бильярдному шару и столкнуть их, то не получится мест,

где шары интерферируют. Складываются и интерферируют только волны.

Итак, вот вам простое практическое руководство:

- ◆ две яркие линии = как частицы (Джекил);
- ◆ много ярких линий = как волны (Хайд).

II. Можно ли изменить реальность, если просто смотреть на нее?

Свет, безусловно, волна. Эксперимент Юнга с двойной целью доказывает это окончательно и бесповоротно. Ну что, вопрос закрыт?

Размечтались. Ньютон был абсолютно убежден, что свет состоит из частиц, и он был не одинок. В 1905 году Альберт Эйнштейн показал, что свет на самом деле состоит из фотонов. Такие громкие заявления нуждаются в веских доказательствах, какие бы знаменитости и знатоки их ни делали, поэтому Эйнштейн обосновал свою точку зрения с помощью так называемого фотоэффекта.

Ученые заметили, что если посветить на металлы ультрафиолетовым лучом, выскакивают электроны. С другой стороны, если подставлять те же самые металлы под менее энергичные длины волн, ничего не происходит. Эйнштейн сделал вывод, что единственное возможное объяснение фотоэффекта – фундаментальное: свет состоит из отдельных частичек, фотонов, каждая из которых передает свою энергию одному-единственному электрону. Это как стучать одним бильярдным шаром по другому, а значит, куда больше похоже на частицы, чем на волны, верно? Поскольку красный, зеленый или синий свет (сделанный из отдельных фотончиков) такой слабенький, ни у одного фотона не хватает энер-

гии, чтобы вышибить электрон, — именно поэтому наблюдаемый эффект замечен только в ультрафиолетовом свете, при более высоких энергиях.

Эйнштейн получил за это открытие Нобелевскую премию, практически каждая вводная книга по этой теме воздает ему должное как человеку, доказавшему, что свет ведет себя как поток частиц, однако, как выяснилось, вердикт не был окончательным. В 1969 году несколько исследовательских групп показали, что фотоэффект можно объяснить и на основе волновой гипотезы. Эйнштейн прекрасно объяснил фотоэффект, но оказалось, что его объяснение не единственное. Просто он рассказал нам прелестную историю со счастливым концом. Хотя в его доказательстве было несколько логических погрешностей, оказалось, что он все равно был прав. Множество экспериментов впоследствии показали, что свет определенно ведет себя как поток частиц.

Представляется, что все эти споры стоят в одном ряду с вопросами, ответы на которые примерно так же судьбоносны: «Сколько ангелов уместится на кончике иглы?» и «Куда, куда вы удалились, весны моей златые дни?» И правда, кому интересно, что такое свет на самом деле — волны или частицы? К тому же, если вдуматься, не такое уж это и противоречие. Вот, например, океанские воды уж точно ведут себя как волны, но мы-то знаем, что на самом деле они состоят из отдельных (вроде частиц) молекул.

Может быть, и свет ведет себя так же? Может быть, он

только кажется непрерывной волной – примерно как кажется непрерывной картинка на экране телевизора? Если внимательно присмотреться к телевизору, видно, что изображение «на самом деле» состоит из отдельных пикселей.

Может быть, свет только кажется волной, потому что в нем так много фотонов? В контексте опыта с двойной щелью, может быть, ужасно много фотонов проходит в левую щель, ужасно много фотонов – в правую, а потом две волны интерферируют друг с другом.

Ах, если бы жизнь была так проста.

Мы уже говорили о том, что физическая интуиция в квантовой механике не помощница. Надеемся, вы не выбросили надувные нарукавники, потому что сейчас мы бросим вас на глубину.

Множество фотонов проходят в каждую щель и интерферируют друг с другом, причем ведут себя как волны. Мистер Хайд, который хочет вернуться в состояние доктора Джекила, кое-что задумал. «Может быть, – свирепо рычит он, – если снизить интенсивность луча, фотоны будут пролезать в щели по одному. А отдельный фотон уж точно не сможет вести себя как волна, ему ведь не с чем интерферировать!»

Бедный, легковверный простак! Посмотрим, что получается, когда он претворяет в жизнь свой завиральный проект.

Как и планировалось, он приглушает луч и удостоверяется в том, что фотоны попадают в аппарат строго по одному. Как и раньше, на заднем экране есть детектор, который засекает

каждый попадающий в экран фотон. Хотя результаты должны накопиться, а происходит это не сразу, Хайд все равно видит, какой рисунок они образуют на дальнем экране.

Хайд видит на дальнем экране рисунок из нескольких полос, который показывает, что фотонный луч и в самом деле ведет себя как волна. Попадающие в аппарат фотоны с чем-то интерферируют. Но ведь луч настроен так, что выпускает фотоны по одному. Единственное логическое объяснение – что фотоны интерферируют сами с собой. Каждый фотон проходит сквозь обе щели одновременно. Фрост ошибался. Если ты фотон, то тебе по силам пройти по обеим дорогам, а не только по той, которая покажется нехоженой.

Мы знаем, что фотон умеет вести себя и как волна, и как частица. Понимание, что фотон способен проявлять оба качества, не объясняет, откуда он знает, когда проявлять какое. В 1978 году Джон Арчибальд Уилер из Принстонского университета предложил интересный опыт, который позволил увидеть, как фотоны поведут себя в опыте с двойной щелью, если мы изменим правила игры на полдороге. «Представим себе, – подумал Уиллер, – что задний экран можно убрать, а за ним на некотором расстоянии стоят два телескопчика, каждый из которых точно нацелен на одну из двух щелей».

Если убрать экран, то, глядя в тот или иной телескопчик, мы точно скажем, в какую щель проскочил тот или иной фотон. А значит, каждому фотону придется проскакивать в определенную щель, а не в обе. Иначе говоря, можно заста-

вить фотоны вести себя как частицы, если убрать экран, — а значит, превратить экспериментатора обратно из Хайда в Джекила. Если мы поставим экран на место, то фотоны начнут снова вести себя как волны — и снова воцарится мерзопакостный Хайд.



Тот факт, что мы повлияем на поведение фотонов, добавляя или убирая экран, сам по себе странноватый, но дальнейшее предположение Уилера делает его еще более странным. Что будет, если убрать экран *после того*, как отдельный фотон пройдет первый экран — тот, что со щелями? «Опыт с отложенным выбором» позволит нам превращать свет из

волны в частицу и обратно в любой момент эксперимента.

Иначе говоря, уже после того, как фотон пролетел сквозь экран со щелями, мы можем сделать так, чтобы он пролетел только сквозь одну щель²⁴ – и для этого нужно всего-навсего убрать проекционный экран. Хуже того – своими действиями мы сделаем так, что фотон каким-то образом выберет, через какую щель проскакивать. Есть что-то замогильно-жуткое в том, чтобы иметь возможность так глубоко повлиять на реальность, особенно если осознать, что, как представляется, фотон тогда делает выбор *ретроспективно*.

Квантовая механика (и Уилер) утверждает, что в принципе не существует никакого способа предсказать, через какую щель пройдет фотон, до того, как мы заставим его вести себя согласно классической физике (убрав экран). Да, мы действительно способны изменить квантовый мир *уже после того*, как произошло некое событие. Из чего можно вывести два потрясающих следствия:

- 1) наблюдение над системой фундаментально ее меняет;
- 2) отдельные фотоны способны вести себя и как частица, и как волна и в мгновение ока переключаться из одного состояния в другое.

²⁴ Тот факт, что действиями в настоящем мы, оказывается, способны изменять прошлое, крушит не только мировоззрение, но и глагольные времена.

III. Что же такое, в самом деле, электроны, если их как следует рассмотреть?

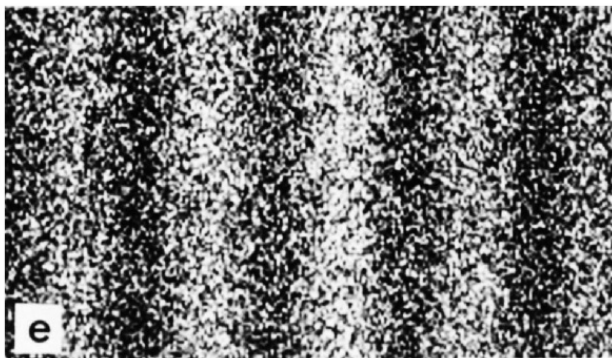
Все странности квантовой механики были бы невинными шалостями, если бы относились только к свету. Свет – особая статья: у него вообще нет массы, и к тому же он постоянно движется со скоростью c . Как вы, наверное, догадались, беда в том, что фокусы квантовой механики распространяются не только на фотоны.

Самые легкие частицы, с которыми мы можем без труда иметь дело, – это электроны. Если вы не слишком много о них знаете, это ничего, мы как следует перемоем им косточки в главе 4. Сейчас вам надо знать только одно – что с электронами мы имеем дело постоянно. Традиционные (не плазменные) телевизоры делаются на основе «электронно-лучевых трубок», а это всего-навсего интеллигентное название для баллистических электронных пушек, которые пуляют вам в лицо электронами на околосветовой скорости.

Что будет, если мы в ходе опыта с двумя щелями будем стрелять электронами, а экран поставим флуоресцентный? Каждый раз, когда электрон попадает во флуоресцентный экран, мы видим вспышку света, так что можем сосчитать, сколько электронов попадает в каждую конкретную часть

экрана. Если бы Хайд мог наложить свои корявые злодейские руки на электронный луч и если бы он настроил источник так, чтобы посылать только один электрон за раз, он все равно получил бы на экране рисунок, характерный для волн, а не для частиц. То же поведение, которое мы наблюдали у фотонов!

Провести этот опыт в реальности было невозможно по техническим причинам до самого недавнего времени, хотя физическое сообщество ничуть не сомневалось, к каким результатам он приведет. В 1989 году Акира Тономура из Университета Гакусюин и его сотрудники провели опыт с двумя щелями для электронов, и вас ничуть не удивит, когда вы узнаете, что электронный луч дает абсолютно тот же результат, характерный для волн, – множество линий на экране – что и световой луч. По крайней мере мы надеемся, что вас это ничуть не удивит.



По данным Тономуры и др., 1989

На тот случай, если вам нужно получить подзатыльник от Хайда, чтобы лучше дошло, повторим: тот факт, что электрон способен интерферировать сам с собой, доказывает, что на самом деле он проходит одновременно в обе щели. Однако рассечь электрон напополам нельзя даже самой острой катаной. Ну, как вам парадокс? Электрон проходит в обе щели, даже не разделяясь надвое.

Конечно, это справедливо не только для фотонов и электронов. В последнее время этот опыт провели с самыми разными микроскопическими объектами, например с нейтронами и атомами. И все они вели себя совершенно так же – по-квантовому странно.

Мы признаем, что навязчиво рекламируем вам опыт с

двумя щелями, но, уверяем вас, без этого никак. Темы вроде относительности позволяют ученому-физику принять факты наподобие скорости света, а затем построить теорию для объяснения, в общем-то, всего остального, не покидая уютной кладовки в доме своих родителей. Квантовая механика, напротив, практически целиком построена на опытах, опытах и еще раз опытах, причем зачастую оказывается, что прежние теории не в силах объяснить происходящее.

Обратная сторона опыта Тономуры – та же, что и в опыте Уилера с отложенным выбором. Если мы каким-то образом будем следить за электронами, чтобы посмотреть, в какую именно щель они пролетают, то произойдет коллапс волновой функции, и мы заставим электроны вести себя, как подбавляет частицам.

«Коллапс волновой функции» – фраза, которой физики бросаются направо и налево, для них это все равно что сказать «вычислить собственные значения гамильтониана» или «посидеть дома одному в субботу вечером». Мы так к ней привыкли, что забываем, что требуются дополнительные объяснения²⁵. А вот о волновой функции имеет смысл кое-что добавить.

В квантовой модели волной является все. Если внимательно посмотреть на электроны, окажется, что они вовсе не

²⁵ А фраза «посидеть дома одному в субботу вечером» дополнительных объяснений не требует. Сидите, невежды, дома и дочитывайте эту книгу, причем с радостью, кому сказано?!

похожи на шарики – скорее на облачка. Там, где облако (или, если вы цените постоянство терминологии, «волновая функция») плотнее всего, мы имеем самую высокую вероятность обнаружить электрон в данный момент времени.

Когда мы говорим, что электрон «ведет себя как волна», или когда вы слышите разговоры об электронном облаке, это не значит, что электрон как таковой – это такой бесформенный предмет вроде сахарной ваты. Также мы не хотим, чтобы вы считали волновую функцию электрона чем-то вроде тасманийского дьявола из старых мультиков – помните, он бегал так быстро, что казался размазанным пятном?

Электрон и в самом деле находится сразу в нескольких местах, и если мы вычислим его точное местоположение, то изменим природу системы. Нет никакого способа заранее узнать, где именно находится электрон, и изолировать его возможно только посредством наблюдения. Как только мы выявляем местоположение электрона, например, попадаем в него фотоном, происходит коллапс волновой функции, и в следующий миг мы почти наверняка знаем, где находится электрон. Волновая функция уже не распространяется на большую область пространства.

Представьте себе, что Джекил и Хайд сидят и играют в «Морской бой»²⁶. Как мы знаем, Хайд прожженный жулик, поэтому некоторое время, когда доктор Джекил называет ко-

²⁶ Да, мы понимаем, что технически они одно и то же лицо. Вот это мы и называем метафорой.

ординаты, Хайд постоянно утверждает, что он промахнулся, а сам передвигает свои корабли. В конце концов Хайд понимает, что обманывать противника бесконечно ему не удастся, поэтому он вынужден поставить свои корабли в определенные места на доске и признаться, что удар попал в цель. Очевидно, то, что Джекил определил местоположение судна, повлияло на ситуацию.

Иными словами, вспомните свою юность. Когда вы были молоды, весь мир лежал у ваших ног. Перед вами раскрывались бесчисленные возможности: кем быть? Физиком-ядерщиком? Космологом? Астрономом? А теперь подумайте о том, чего вы достигли. Все потенциалы, все неопределенности схлопнулись в одно состояние, в то, как вы на самом деле распорядились своей жизнью, — в одну дорогу.

IV. Не квантовая ли механика виновата в том, что я постоянно все теряю?

Объяснив, в чем состоит основная идея квантовых странностей, мы посвятим несколько минут беседе о некоторых ее следствиях, которые на первый взгляд кажутся невероятными, — именно их вы скорее всего сочтете софистическими фокусами или чрезмерным упрощением.

Когда мы направляем луч электронов на экран с двумя щелями в ходе все того же опыта, то не знаем, в какую именно щель пролетит частица. Это все равно что сказать, что в положении электрона наблюдается неопределенность. В 1948 году Ричард Фейнман, который тогда работал в Корнельском университете, обнаружил в этом опыте еще более вопиющую странность.

Чтобы хорошенько представить себе, что именно сделал Фейнман, давайте снова поставим этот опыт. Хайд стреляет электронным лучом в экран с двумя щелями и смотрит, что получится. «А если бы мы прорезали в переднем экране третью щель?» — думает он. Будучи прирожденным убийцей, Хайд выхватывает кинжал и прорезает в экране еще одну щель. Теперь электрону придется проходить сквозь все три щели — в каждую с некоторой вероятностью, — и интерфери-

ровать друг с другом будут все три получившиеся в результате волны.

«А четвертую? А пятую?» И снова электрон будет проходить во все щели одновременно. «А если мы будем прорезать щели, пока экран не исчезнет?» Хайд принимается кромсать экран, словно он весь состоит из лондонских уличных мальчишек, пока пол лаборатории не оказывается усеян обрывками и ошметками. Электрон должен проходить сквозь все пространство, где раньше был экран, с некоторой вероятностью.



Что произойдет, если Хайд поставит между лучом и задним проекционным экраном много таких (пустых) экранов? Естественно, электрон пройдет сквозь все эти щели с вероятностью, заданной волновой функцией.

Но если никаких экранов нет, значит, Фейнман описывает ситуацию, в которой обычная частица просто проходит из точки А в точку В, а если вы еще не поняли, в чем тут соль (а понять это не так-то просто), на самом деле он убедительно показал, что, проходя из одной точки в другую, частицы двигаются вовсе не обязательно по прямой или даже по кривой или зигзагообразно, а проходят все возможные пути одновременно!

Хуже того – проходя по всем этим возможным путям, частицы вытворяют самые разные невозможные фокусы. Например, они обретают «неправильную» массу или двигаются быстрее скорости света. То, что в обычной жизни кажется невозможным, происходит просто с крайне маленькой вероятностью. Но тем не менее «невозможные» события нужно учитывать в расчетах, чтобы они были точными.

Мы отдаем себе отчет, что все это до боли похоже на «философские» рассуждения под воздействием расширителей сознания, которые так любят вести студенты за полночь: «Эй, ребята, а вот было бы клево, если бы мы были, ну... в общем, везде сразу?» – «У-у-ух ты-ы-ы!»

Но надо понимать, что фейнмановские «все возможные

пути», как и опыт с двумя щелями, – это полезная картина действительности, поскольку она дает верные ответы. Поскольку мы не в состоянии засечь частицы между передним и задним экраном, мы не можем с уверенностью утверждать, где они там находятся. А если бы мы могли определить их местоположение, то разрушили бы систему.

Сама идея, что невозможно в точности сказать, где находится частица, ничего не испортив, вероятно, вас огорчает. Мы с вами согласны. Однако этот мысленный эксперимент позволяет представить себе природу движущихся частиц – даже если от этого впору вывихнуть мозги.

А следовательно, если вы куда-то засунули ключи от машины, не думайте, будто квантовая механика вам поможет. Квантовая механика имеет дело лишь с вероятностью обнаружения частицы в той или иной точке, но это не означает, что она пренебрегает деталями. Напротив, она очень-очень точно отражает, насколько мало мы знаем о Вселенной.

В 1927 году Вернер Гейзенберг, который тогда работал в Гёттингене, постулировал, что для любой частицы не только нельзя однозначно определить местонахождение и параметры движения, более того, чем лучше мы знаем местонахождение, тем хуже можем измерить скорость – и наоборот²⁷. В результате, если мы знаем местоположение частицы с бес-

²⁷ Строго говоря, это не скорость, а импульс. Если вы уже разбираетесь в физике настолько, что понимаете, чем скорость отличается от импульса, значит, мы доверим вам высокую честь остаться на перемене в классе и вытереть доску.

конечной точностью, у нас нет ни малейшего представления о том, какова ее скорость. Подобным же образом, если мы (как-то) умудрились определить, с какой скоростью частица движется, мы бы не имели ни малейшего представления, где она находится.

«Принцип неопределенности Гейзенберга» – одна из тех концепций квантовой механики, которые особенно часто понимают неправильно, в основном потому, что люди склонны предполагать, будто на самом деле это не более чем классический феномен. Многие популярные книги по квантовой механике ошибочно «доказывают» принцип неопределенности следующей цепочкой рассуждений. Если мы хотим понять, где находится частица, надо стукнуть ее фотоном. Если фотон имеет очень большую длину волны, мы не можем точно определить положение частицы. Фотоны с большой длиной волны ударяют слабо, поэтому измерение не слишком влияет на электрон, а значит, мы можем определить его скорость достаточно точно.

С другой стороны, чтобы как следует понять, где находится частица, нужно ударить ее фотоном с маленькой длиной волны. Фотон с маленькой длиной волны очень энергичный, а значит, сильно ударяет частицу. В результате мы не можем определить ее скорость достаточно точно.

Из этого следует, что именно фотон и делает неопределенными местонахождение и скорость частицы. Ведь без фотона, ударяющего частицу, которую мы наблюдаем, мы бы ни-

чего не испортили. Но ведь дело совсем не в этом. Хотя наши наблюдения (то, что мы вводим в картину фотон) влияют на состояние частицы, неопределенность его положения и скорости – это фундаментально. Обойти ее невозможно в принципе.

У принципа неопределенности есть несколько удивительных следствий. Давайте сначала представим себе, как доктор Джекил в своей лаборатории перекладывает блокноты на полке. Если он уходит выпить чаю и возвращается, чтобы снова просмотреть блокноты, они будут лежать в точности на том же самом месте, где он их оставил, ведь они большие, увесистые и едва ли способны передвигаться сами по себе.

Но что если на сцену выходит мистер Хайд? Поскольку жестокость его безгранична, он не обращает никакого внимания на блокноты, а вместо этого хватается беззащитный электрон и запихивает его в очень маленькую коробочку²⁸. Если знать, что электрон в коробочке, значит, неопределенность его положения очень невелика. А следовательно, довольно высока неопределенность его скорости. Что мы имеем в виду под неопределенностью? Мы имеем в виду, что никто не знает и не может узнать, какова скорость электрона. Однако Хайд точно знает, что электрон не сидит неподвижно. Если бы это было так, он мог бы с определенностью заявить, что его скорость равна нулю. Значит, электрон наверняка мечется в коробочке.

²⁸ Воистину этот человек – настоящее чудовище.

Вероятно, электрон быстро бежит налево, и так же вероятно, что он быстро бежит направо. Чем меньше коробочка, тем лучше мистер Хайд знает, где находится электрон, и тем хуже он знает, какова его скорость, а следовательно, тем быстрее электрон может метаться.

Но этим дело не ограничивается. Неопределенность распространяется не только на электроны. Как мы уже видели, свет тоже состоит из волн, а как мы увидим в следующей главе, свет – это всего одно из четырех (или, вероятно, пяти) фундаментальных полей, пронизывающих Вселенную. Что будет, если Хайд возьмет «пустую» коробочку, в которой совершенно точно не будет ни света, ни электронов?

Мы уже упоминали, что Хайд совершенно безумен, и оказывается, что его эксперимент в принципе невозможен. Как бы Хайд ни старался, свету все равно удастся найти лазейку в коробочку. Чтобы это понять, сначала надо осознать, что даже если Хайд не пускает свет в коробочку, в нее, в принципе, могут попасть отдельные световые волны. Амплитуда этих волн, как и электрона, неопределенна, но Хайд пытается свести ее к нулю. Это – основа «теории квантового поля», союза специальной теории относительности (глава 1) и квантовой механики.

Если заключить электрон в маленькую коробочку, он от этого начнет скакать со все большей средней энергией, – точно так же неопределенность гарантирует, что нет никакого способа полностью удалить электрическое поле.

Это означает, что даже в предположительно пустой коробочке Хайда то и дело возникают и исчезают фотоны. Это сущее безумие – но ведь и он, увы, безумен. Это означает, что даже в пустом пространстве есть энергия. Она называется «энергия вакуума» Вселенной и обладает крайне странными свойствами. Например, если Хайд сомнет свою коробочку в гармошку, то, хотя ее объем уменьшится, плотность энергии вакуума не возрастет. Это совсем не похоже на... в общем, на все остальное на свете.

Именно в этот момент, как правило, нефизик и обвиняет нас в «подтасовке фактов». В конце концов, если Вселенная полна энергии вакуума, почему мы ее не замечаем? Ведь, похоже, ее там целая прорва.

Наверное, вам станет понятнее, что происходит, если мы приведем аналогию с тем, как вы помогаете другу²⁹ с переездом. Представьте себе, что ваш друг живет на шестом этаже без лифта. В целом вы любите помогать людям, но теперь вам нужно тащить на шестой этаж всякие разные трюмо – на собственном горбу и по узким извилистым лестницам. К вечеру вы волей-неволей заметите, что влезть на шестой этаж – та еще работенка. Но почему вам не приходит в голову, что ваш друг живет на высоте 700 метров над уровнем моря? В самом деле, почему? Потому что это не играет никакой роли. Так вот, энергия вакуума – это как первый этаж. Это самая низкая энергия, какую только можно измерить, а все осталь-

²⁹ Если речь идет о Хайде – то врагу.

ное отсчитывается от нее. Примерно поэтому же вы никогда не говорите, что какая-нибудь энергия «ниже энергии вакуума».

Все это, однако, не доказывает, что мы не «подтасовываем факты». Мы только показали, почему мы никогда не замечаем энергии вакуума, но при этом не привели никаких веских доказательств того, что она вообще существует. Это подождет – до тех пор, пока мы не начнем разговор о природе пространства. Пока что будем считать энергию вакуума следствием квантовой механики и неизбежным злом вроде Хайда.

Разумеется, поскольку вакуум обладает готовым запасом энергии, это означает, что по закону $E = mc^2$ Вселенная способна непрерывно порождать частицы. Частица может выскочить в вакуум, словно пар из кипящей кастрюли, с одним условием – она не должна существовать слишком долго. Частицы могут возникать, но они быстро аннигилируют, и чем массивнее частица, тем меньше она живет и тем скорее исчезает навсегда.

V. Можно ли взять и построить телепортатор, как в «Звездном пути»?

Мы не привыкли думать о таких вещах, как электроны, как о «волновых функциях», однако они и есть волновые функции. Это означает, что в большей или меньшей степени (скорее в меньшей) пространство, где можно с некоторой вероятностью обнаружить электрон, огромно – строго говоря, это вся Вселенная. То, что мы привыкли считать «невозможным», следует переопределить как просто «крайне невероятное».

Представьте себе, что лондонцы устроили ловушку – вырыли в земле огромную яму, – а Хайд в нее угодил. Мистер Хайд попытался было выпрыгнуть, но даже его крепкие ноги не сумели вызволить его из ямы. На физическом жаргоне мы можем сказать, что у него не хватает энергии, чтобы выпрыгнуть. И что бы вы думали? Квантовая механика диктует, что, поскольку местоположение великого преступника неопределенно, существует вероятность, что мистер Хайд будет «наблюдаться» вне ямы. Это просто такой способ сказать, что он выбрался. Мастер побега, он выкручивается из положения, из которого, как кажется обычному человеку, выбраться невозможно. Он устраивает побег, построив *туннель*, но

не в классическом смысле – в земле, чайной ложкой; он просто оказывается вне ямы.

Поясним нашу мысль. Хайд не в силах контролировать свой побег, то есть возникновение туннеля: это просто случайное событие, которое происходит с некоторой вероятностью. Более того, если мы имеем дело с настолько крупным предметом, как наш маниакальный друг, нам придется очень долго ждать, когда же что-нибудь случится, – не исключено, много дольше, чем существует Вселенная.

С другой стороны, для микроскопических объектов вроде атомов туннелирование не просто возможно, а почти неизбежно. Уран, плутоний и торий могут сидеть себе смирно, и всем составляющим их частицам и в голову не придет покидать ядро. Представьте себе, что уран «сделан» из ядра тория плюс ядро гелия. Они связаны настолько прочно, что (человеку с классическим мышлением) кажется невозможным, чтобы гелий (более легкий элемент) взял да и сбежал. Но дайте только срок! Невероятно, но факт – существует вполне осязаемый шанс, что через какие-нибудь 4,5 миллиарда лет гелий туннелирует и сбежит.

Квантовая механика не просто дает нам возможность совершить самый невероятный побег, но и позволяет за те же деньги испытать телепортацию! Поскольку волновая функция электрона, урана, да что там – даже такого мерзавца, как мистер Хайд, – строго говоря, простирается на всю Вселен-

ную, существует ненулевая вероятность³⁰, что вас или еще что-нибудь внезапно «пронаблюдает» на другой планете, которая вращается вокруг другой звезды.

Мы понимаем, что вы хотели другого. Вы хотели получить «настоящее» телепортационное устройство вроде тех, которые видели в «Звездном пути»³¹. Вам нужно что-то такое, чтобы вы имели возможность контролировать, куда и когда посылаете свой отряд, а не полагаться на чистую случайность. Ну что ж, вам повезло. Квантовая механика позволяет выстроить устройство для телепортации – как положено, чин чинком, – но прежде чем вы разобьете свинью-копилку, чтобы его купить, позвольте предупредить вас о некоторых его особенностях.

Во-первых, настоящий телепортатор не перемещает ваши атомы из пункта *A* в пункт *B*. На самом деле он создает точную копию. Представьте себе, что вы хотите переместить статую на другой конец комнаты – раз уж вам не хочется проводить эксперименты на людях. Тогда у приемника должно быть в распоряжении достаточно атомов углерода, достаточно атомов железа, достаточно атомов кальция и так далее – и все наготове. Передатчику надо будет отправить сигнал, который дает приемнику точные инструкции, описывающие

³⁰ Когда физики так говорят, они имеют в виду «исчезающе малую» вероятность. А когда мы говорим «нетривиальный», то имеем в виду «почти невозможный».

³¹ «Признайтесь, Пойндекстер! У вас есть собственный унитард с отличительными знаками Звездного Флота!»

волновую функцию каждого атома и общее устройство статуи. Если в пункте назначения удастся точно скопировать волновые функции, значит, у нас получится самая настоящая телепортация.

Кажется, что здесь что-то не так: ведь мы только скопировали статую, а не переместили ее. Позвольте задать вам один вопрос. А какая разница? Скопированная статуя будет выглядеть точно так же, вплоть до мельчайших деталей. И весить будет столько же, и на ощупь такая же, и эксперты признают ее подлинной, и так далее.

С точки зрения законов физики, статуя будет точно такая же. Вселенная ведь не отличает один атом, например, кальция от другого. Все они идентичны. Более того, процесс отправления сигнала приемнику разрушает волновые функции оригинала. Иначе говоря, телепортационное устройство – это вам не факс: вы начинаете с одного предмета и получаете тоже один предмет, только в другом месте.

Итак, с телепортацией статуй покончено. Что будет, если мы телепортируем человека – например, лично вас? Телепортированная версия «вас» не почувствует никакой разницы. Что есть «вы», как не сумма волновых функций квадрилонов составляющих вас атомов? Эти атомы определяют не только ваш внешний облик, но и ваши воспоминания. А поскольку оригинал, с которого вас скопировали, разрушен, других «вас» на свете нет, и оспаривать ваши воспоминания некому.

Так прекрасно (или ужасно), что даже не верится? Не обольщайтесь, поскольку сначала надо кое-что прояснить. Всю эту главу мы говорили о волновой функции отдельных атомов. На самом деле, если два атома взаимодействуют друг с другом, более уместно рассматривать комбинированную волновую функцию двух атомов. В таких случаях говорят о «запутанности квантовых состояний» этих атомов, а это всего-навсего ученый термин, обозначающий, что если мы знаем что-то на квантовом уровне об одном атоме, то знаем и о другом.

Базовая процедура такова:

1. Берем два атома (A и B), перепутываем их³² и один – A – подаем на передаточный конец вашего телепортационного устройства, а второй – B – на приемный конец.

2. Передатчик берет другой атом, тот, который он хочет телепортировать (C), и интерферирует его с A . В процессе происходит коллапс волновой функции и A , и B на приемном конце. Мы уже видели, что интерференция и наблюдение влияют на волновые функции именно так, и в результате C тоже меняется. Это все равно что сказать, что объект, который вы передали, уничтожен.

3. Приемник на своем конце проделывает то же самое, но интерферирует атом-мишень D со своим измененным и запутанным атомом B . Его интерференция также влияет на D , но производит обратный эффект, и D приобретает оригина-

³² Как именно, мы расскажем в следующей главе.

нальную волновую функцию атома C .

Телепортация – дело необычайно трудное. Лишь в 1997 году удалось телепортировать один-единственный фотон, и лишь в 2004 году несколько групп ученых сумели телепортировать один-единственный атом, да и то всего на расстояние в несколько метров. Учитывая, сколько потребовалось трудов, было бы проще просто перенести атом из одного места в другое.

Чем крупнее система, тем сложнее ее телепортировать. Даже телепортация одной молекулы пока что далеко за пределами наших экспериментальных способностей. Так что хотя телепортация, строго говоря, возможна, пройдет еще очень много времени, прежде чем станет отдаленно возможной телепортация человека, да и тогда мы бы не рекомендовали ее практиковать.

VI. Если в лесу падает дерево и никто этого не слышит, раздается ли шум?

Наши примеры были сосредоточены на микроскопических частицах, однако мы вовсе не утверждали, что для того, чтобы вести себя по-квантовому, частица обязательно должна быть крошечной. Более того, на самом деле мы доказывали, что вся наша Вселенная имеет фундаментально квантовую природу. В самом деле, если микроскопический мир управляется исключительно квантовыми законами, нельзя ли обобщить их и счесть, что и мы подчиняемся этим правилам?

И да и нет.

Возьмем, к примеру, принцип неопределенности³³. Когда мы говорили о нем, то оставили в стороне все сложные математические выкладки (читайте: всю математику), поэтому сейчас должны добавить еще одну детальку. Чем массивнее частица, тем точнее мы способны вычислить и ее местоположение, и ее скорость.

Например, представьте себе, что мы проделываем опыт с двумя щелями с потоком электронов. Если две щели разнесены на миллиметр, то мы вправе предположить, что неопределенность положения электрона – примерно миллиметр.

³³ Фанфары!

Иначе никак – ведь мы не знаем, сквозь какую щель прошел электрон. Пожонглировав немного цифрами, мы обнаружим, что скорость электрона неопределенна примерно на 160 метров в час. Не слишком большое число, зато оно поддается измерению.

А если мы измерим скорость Хайда (когда он, например, скрывается с места преступления) с точностью до 160 метров в час? Это гораздо точнее, чем точность любого прибора, который может оказаться у вас под рукой. Предположим, что поскольку мы вычислили скорость Хайда с вполне осязаемой и измеряемой точностью, в его местоположении должна быть неопределенность. Она и есть. Местоположение Хайда неопределенно с точностью примерно одна десятиквинтиллионная доля размера ядра атома. На более мелком масштабе Хайд вел бы себя как волна. Поскольку сам он гораздо крупнее одной десятиквинтиллионной доли размера ядра атома, то во всех мыслимых ситуациях ведет себя как частица. То есть нет никаких представимых обстоятельств, в которых макроскопические предметы (вроде нас с вами, Джекила и Хайда) будут вести себя как квантовые объекты.

Вернемся к вопросу, с которого мы начали эту главу, и поговорим о классическом эксперименте, который глубоко запал в общественное сознание, – об Эрвине Шредингере и его легендарном коте.



ПОСЛЕДНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Пусть Хайд, этот бессердечный негодяй, сделает ящик с флаконом яда внутри. Если некий радиоактивный атом, также заключенный в этот ящик, распадается за определенный отрезок времени, яд попадет в ящик. Если атом не распадется, яд останется во флаконе. Затем Хайд сажает в ящик кота и закрывает крышку³⁴.

³⁴ Чтобы расставить все точки над i , уточним, что эксперимент этот сугубо мысленный. Однако он наводит на самые печальные мысли относительно психического склада Шредингера.

Назначенное время прошло. Жив кот или мертв?

Этот вопрос Шредингер задал еще в далеком 1935 году – как бы между прочим, в одной длинной сугубо технической статье, – и обсуждение его заняло не больше места, чем в нашей книге. И хотя загадка шредингеровского кота ничего не говорит нам о том, как создать квантовый компьютер или микросхему, она заставляет задать некоторые вопросы о подлинной природе Вселенной. Оказывается, есть несколько способов отравить кота – или по крайней мере интерпретировать факт отравления.

Копенгагенская интерпретация

В 1927 году два основателя квантовой механики – Нильс Бор и Вернер Гейзенберг – сформулировали первую версию так называемой копенгагенской интерпретации квантовой механики. В целом она заключается именно в том, на что мы опирались все это время:

- 1) система описывается исключительно своей волновой функцией;
- 2) волновая функция показывает, что определенные измерения сугубо вероятностны;
- 3) как только мы делаем измерение, происходит коллапс волновой функции, и у нас остается конкретное число.

И хотя мы собираемся описать некоторые другие точки зрения, любой физик, работающий от звонка до звонка, считает копенгагенскую интерпретацию общепринятой версией событий, в основном потому, что она позволяет нам произ-

водить вычисления, не слишком задумываясь о том, что все это на самом деле значит³⁵.

Однако даже среди горячих сторонников квантовой механики существуют определенные разногласия относительно того, что на самом деле гласит копенгагенская интерпретация. Существует ли на самом деле волновая функция? И правда ли это, что реальность системы заключается только в том, что мы наблюдаем? Лично нам кажется, что это пустые придирки. Лично нам гораздо ближе версия Дэвида Мермина: «Если бы меня заставили изложить суть копенгагенской интерпретации одной фразой, я бы ответил: “Заткнись и считай!”»

Ближе к делу: как получается, что то, что мы что-то наблюдаем, приводит к коллапсу наблюдаемого? Вообще-то мы и сами состоим из субатомных частиц, которые также подчиняются законам квантовой механики. Откуда Вселенная знает, как перейти из состояния неопределенности до того, как произошло измерение, к определенности после этого?

У наблюдения есть последствия и похуже коллапса волновой функции. Вспомните наш разговор о том, что ваша волновая функция простирается до далеких звезд и, строго говоря, существует вероятность, что вас туда спонтанно телепортирует? Так вот, когда вас наблюдают здесь, на Земле, у вашей волновой функции происходит коллапс, а значит, ва-

³⁵ Что, в свою очередь, позволяет нам лениться, а это мы любим...

ша волновая функция где бы то ни было еще исчезает. Если вас это не беспокоит, советуем задуматься. Что-то происходящее здесь мгновенно влияет на происходящее в нескольких световых годах отсюда – а значит, это влияние распространяется со скоростью больше скорости света.

Давайте забудем обо всем этом и просто посмотрим, что говорит нам Бор про кота. Жив или мертв шредингеровский кот? Согласно копенгагенской интерпретации, да.

Серьезно.

Копенгагенская интерпретация говорит нам: «И то и другое с определенной вероятностью. Если мы откроем ящик, то произойдет коллапс волновой функции, и останется только одна возможность, которую мы и наблюдаем».

Чушь какая! Что за глупости – думать, будто кот может быть одновременно и живым, и мертвым! Именно это и хотел сказать Шредингер³⁶.

Теперь посмотрим с точки зрения квантовой механики на старинную загадку: если дерево падает в лесу, где его никто не слышит, производит ли оно грохот? «Нет, – отвечает копенгагенская интерпретация. – Для начала, оно даже и не падает, пока не появляются наблюдаемых свидетельств того, что это произошло». Какая нелепость – только представьте себе, что такой крупный предмет, как вековое дерево, настолько подвержен влиянию того, наблюдают его или нет.

³⁶ Видите ли, когда он выдумывал эксперимент с котом в ящике, то как раз хотел поиздеваться над копенгагенской интерпретацией.

Это правда. Но в чем же разница между деревом и котом? Или котом и ядром атома?

Бор считал, что на ситуацию влияет не просто наблюдение, а осознанное наблюдение. Если бы вместо шредингеровского кота у нас был бы шредингеровский аспирант, мы бы практически не сомневались, что более или менее вменяемый аспирант наблюдал бы за системой сам. Почему же так важно, чтобы наблюдателем был именно человек?

С философской точки зрения, самая серьезная проблема с копенгагенской интерпретацией выражается одним вопросом: есть ли разница между тем, что знает ученый, и тем, что знает Вселенная?

Здравый смысл подсказывает, что в случае шредингеровского кота разница очень велика. Очевидно, что Вселенная должна «знать», жив кот или мертв, даже если ученый не знает. В некотором смысле копенгагенская интерпретация утверждает, что неважно, знает ли Вселенная о том, жив кот или мертв, до того, как ящик откроют. Это не изменит ничего наблюдаемого.

Здесь чего-то не хватает. С одной стороны, мы уже видели в опыте с двумя щелями, что прямое или косвенное наблюдение электрона способно заставить его перейти из состояния неопределенности к поведению, подобающему частице. Если мы не будем тревожить электрон, глядя на него, он буквально пройдет через обе щели. А «выбирает» только одну он лишь в том случае, если у нас хватает наглости подглядыва-

вать за ним.

Если все обстоит именно так, в чем тогда принципиальное отличие шредингеровского кота? Это просто более сложная система, в которую по случаю входит не просто один электрон, но еще и радиоактивный образец, флакон яда и квадрильоны атомов, составляющих кота. Те из нас, кто придерживается механистического взгляда на Вселенную, сочтут, что это приведет к невозможной ситуации, поскольку на самом деле мы должны посмотреть на вещи гораздо шире.

Поскольку все частицы во Вселенной в той или иной степени взаимодействуют, Вселенная в целом, в том числе и ученые, и их оборудование, есть одна гигантская волновая функция. Если воспринять это утверждение буквально, становится, мягко говоря, не по себе. Это значит, что все наблюдения, ощущения и поступки как таковые суть комбинация более чем одной возможности, просто вероятность одной из них гораздо, гораздо больше вероятности остальных.

Лично нам вероятность такой «вселенной суперпозиции» кажется настолько неприятной, что мы предпочтем жить во вселенной, где реальность формируется под воздействием сознания³⁷.

Причинная интерпретация. Бом-бом-бом...

Если копенгагенская интерпретация вас нервирует (и кто вас в этом упрекнет?), не волнуйтесь. Это не единственное заведение в нашем городке. Существуют и другие интерпре-

³⁷ Надеемся, что вы, главный солипсист, это учтете.

тации квантовой механики. Все они используют те же уравнения или по крайней мере получают те же результаты³⁸. Однако они, прямо скажем, по-разному объясняют то, что происходит на самом деле. Иначе говоря, мы не в состоянии проверить экспериментально, какая интерпретация верна, и оказываемся во владениях философии.

В 1952 году Дэвид Бом, который тогда работал в Университете Сан-Паулу, выдвинул «причинную интерпретацию» квантовой механики. Бом был категорически не согласен с тем, что шредингеровский кот «полужив – полумертв». Он считал, что на самом деле все то, что мы называли неопределенным – местоположение, скорость, признаки жизни нашего кота, – на самом деле четко определено. Но (и это очень большое НО), хотя частица и Вселенная знают эти определенные значения, это не гарантирует, что их знаете вы.

Бом предположил, что кроме волновой функции должны быть еще «скрытые переменные», и он был не одинок. Одним из первых сторонников и защитников скрытых переменных был сам Эйнштейн, которому следствия квантовой механики категорически не нравились.

Согласно Бому, скрытые переменные включают в себя качества вроде местоположения и скорости, которые, как говорит обычная квантовая механика, совершенно неопределенны. Это все равно что гонять на водных лыжах по зыбучему океану. В каждый конкретный момент лыжи двигаются

³⁸ Если вам кажется, что мы опять впали в демагогию, проверьте сами.

с определенной скоростью и находятся в определенном месте. Однако если вы попытаетесь точно определить положение лыж, то увидите, что они хаотически болтаются туда-сюда. Подобным же образом волновая функция, согласно причинной интерпретации, «двигает» частицу, подталкивая ее в разные стороны, так что если бы мы проводили опыт с двумя щелями, то траектория электрона делала бы якобы случайные волнообразные колебания.

С одной стороны, причинная интерпретация очень утешает. Она заверяет нас, что абсолютная реальность существует, даже если мы не знаем, какова она сейчас и какова она будет в следующую секунду. Электрон на самом деле находится в каком-то одном определенном месте. Нет никакого мистера Хайда! Есть только доктор Джекил. Переодетый³⁹.

Более того, причинная интерпретация решает очень важную проблему, с которой не справилась копенгагенская. Согласно Бому, никакого «коллапса волновой функции» не происходит. Волновая функция никуда не девается, потому что, делая измерения, мы всего-навсего обнаруживаем, где частица была все это время. Мы все равно влияем на нее самим актом наблюдения, но так, что это ничуть не противоречит классической интуиции.

Мы уже упоминали, что причинная интерпретация получает те же результаты, что и обычная квантовая механика. Это и плюс, и минус. Подобно копенгагенской интерпрета-

³⁹ Роскошный сюжет для комикса. Рекомендуем.

ции, причинная интерпретация Бома требует, чтобы сигналы можно было отправлять со скоростью выше скорости света (пусть и крайне редко).

И если при обычных обстоятельствах версия Бома приводит к тем же результатам, что и классическая квантовая механика, нужно сделать по меньшей мере одно предупреждение. Все, о чем мы тут говорили, предполагало, что мы говорим о низких энергиях и частицах, которые уже некоторое время существовали. Есть множество ситуаций, для которых такое определение не подходит, и нам приходится решать вопросы о том, откуда взялись частицы и что происходит, когда мы приближаемся к скорости света. Обычная квантовая механика была расширена и обобщена настолько, что готова дать ответы на подобные вопросы, а версия Бома – нет. Возможно ли это? Покажет только время.

Однако не будем затевать дискуссию о том, что можно и чего нельзя сделать с формулами, поскольку это отвлекает нас от проблемы кошачьей смертности. Что там с котом? Жив он или мертв – по этой интерпретации?

Вообще говоря, Бом утверждает, что лично он не знает, но кот наверняка либо жив, либо мертв, – или то или другое. Мы еще не открыли ящик, а когда откроем, сразу узнаем ответ.

Как это скучно! «Не знаю. Давайте проверим». Скучно, но зато далеко не так мозголомно, как если бы нам сказали «и то и другое».

Интерпретация «множественных миров»

Как неприятно, однако, сознавать, что Вселенная могла пойти и по тому пути, и по другому, но почему-то произвольно выбрала какой-то один. В 1957 году Хью Эверетт, который тогда работал в Пентагоне, предложил интерпретацию «множественных миров».

Эверетт предположил, что каждое случайное событие – например, то, через какую именно щель проскочил электрон, – порождает две разные, однако параллельные вселенные, которые неразличимы во всем, кроме того факта, что в одной электрон прошел в щель *A*, а в другой – в щель *B*. С течением времени вселенные снова и снова расщепляются, практически бесконечное количество раз, порождая тем самым огромное количество параллельных вселенных.

Согласно Эверетту, эти многочисленные миры могут затем интерферировать друг с другом. С математической точки зрения это практически ничем не отличается от обычной квантовой механики. Например, если мы представим себе электрон в эксперименте с двумя щелями, то в нашей Вселенной, скажем, электрон проходит в левую щель, а в других вселенных – в правую. Затем волновые функции разных вселенных интерферируют друг с другом, и если повторить опыт с несколькими электронами, то получим тот самый рисунок из множества полос, который мы уже видели.

В этом случае тоже нет никакого Хайда. Так получается просто потому, что поскольку в каждой вселенной есть свой

доктор Джекил, который проделывает тот же опыт, эти множественные Джекилы интерферируют друг с другом.

Расщепляются не только частицы. Расщепляетесь и вы. Если вы задумаетесь о том, что вы будете делать через 10 минут, то это «вы» относится к целому множеству различных «вы». Каким же из этих «вы» станете вы в конце концов? Всеми сразу. Просто каждый конкретный «вы» будет помнить ту историю, которая произошла в его вселенной. Это значит, что где-то есть «вы»-телезвезда и «вы»-конструктор звездолетов⁴⁰. Просто не все возможности одинаково вероятны.

За счет возникновения бесконечного множества вселенных Эверетт сумел дать утешительный ответ и на наш вопрос о шредингеровском коте. Как и Бом, он ответил: «Не знаю. Кот или жив, или мертв, и единственный способ это выяснить – открыть ящик. Однако если мы откроем крышку, то получим не более чем информацию. Это никак не изменит реальность».

В целом это тот же ответ, который мы дали с точки зрения причинной интерпретации Вселенной, но есть один важный нюанс. Если окажется, что кот жив, это верно лишь для нашей Вселенной. Существуют и другие вселенные – бесконечное множество других вселенных, – в которых кот мертв.

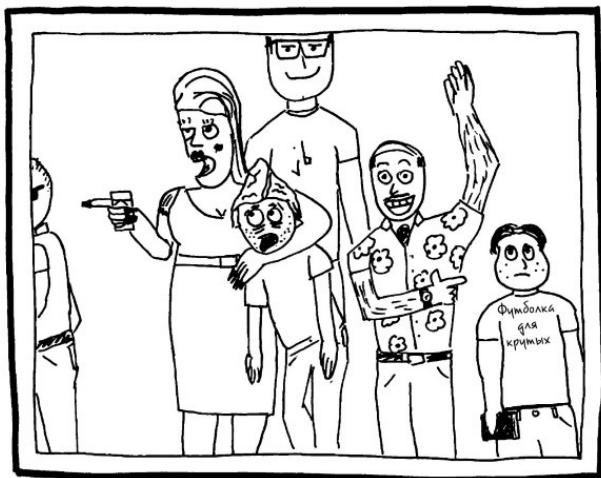
⁴⁰ У этой медали есть и обратная сторона. Наверняка кто-то из «вас» болтал по мобильнику в театре во время спектакля или запустил лапу в кружку для церковных пожертвований. После такого мы никогда не подадим вам руки.

Как выяснилось, реальность – явление сугубо местное.

Глава 3

Случайность

Правда ли, что Господь играет со Вселенной в кости?



СЕМЕЙСТВО БЛОМБЕРГОВ

слева направо: Дейв, теща Мейвис, кузен Герман, Джефф, дядя Луи, племянник Брайан

Говорите о физике минувших лет что хотите. Да, может быть, она скучная, и нужно зубрить всякие правила про рычаги, блоки, маятники и прочее. Зато вы твердо знали, на

каком вы свете. Затем наступил XX век, и вся наша уверенность бесследно улетучилась. Но если квантовая механика имеет дело лишь с микроскопическим уровнем, нам с нашими великанскими человеческими масштабами, казалось бы, надо взять пример с Альфреда Э. Ньюмена: «А мне-то о чем беспокоиться?»⁴¹

Многим очень нравится идея детерминированной вселенной. И в чем их упрекнуть? Все, что мы видим вокруг, по большей части можно либо интуитивно предсказать, либо точно описать математически, а все остальное – что ж, просто оно слишком сложное, чтобы его обсчитать, по крайней мере пока. Эйнштейн был убежден, что мнимая случайность таит под собой детерминистические законы, которые контролируют и позволяют предсказать все на свете. Если вы понимаете, с чего все начинается, законы физики точно скажут, чем все кончится. Кажется, детерминизм Вселенной встроен в формулы. Но если кажется, надо Богу молиться, и этот детерминизм – ложь и обман.

На фундаментальном уровне Вселенная не столько сложна, сколько невероятно случайна. Радиоактивный распад, движение атомов, результаты физических экспериментов – все это определяется прихотями непредсказуемости. По сути своей Вселенная – страшный сон Эйнштейна. Может стать-

⁴¹ Альфред Э. Ньюмен – популярный в США персонаж карикатур, придурковатый мальчишка, который вечно дожидается, когда сзади подкрадется жареный петух и... «А мне-то о чем беспокоиться?» – девиз всей его жизни. – *Примеч. перев.*

ся, случайность – это и ваш страшный сон. Люди плохо приспособлены к тому, чтобы мыслить статистически. Если шансы очевидны или речь идет о жизни и смерти, мозг подсказывает решение. «Не дергай за хвост этого тираннозавра⁴², – говорит, к примеру, мозг. – Многие пробовали, и ничем хорошим это не кончилось, так что все шансы за то, что и для тебя это ничем хорошим не кончится».

С другой стороны, поезжайте в Лас-Вегас и спросите там человека, который только что проиграл 10 ставок подряд, каковы шансы, что в следующий раз он выиграет. Либо он заявит, что уж тут-то ему непременно повезет и он сорвет банк, либо – что игра сегодня не заладилась. Неважно, оптимист он или пессимист, – в обоих случаях он ошибается. Шансы выиграть в следующий раз точно такие же, как и во все предыдущие: 50 на 50.

Но раз уж вы не проводите большую часть досуга в казино (по крайней мере, мы надеемся), возможно, вам будет полезно, если мы объясним вам некоторые нюансы случайности под более знакомым углом зрения. Мы рады представить вам наше семейство по фамилии Бломберг в разгар их встречи. Особенно нас раздражают родственники, которые не просто предъявляют обычные стариковские требования к младшему поколению, но еще и по непонятной причине отказываются верить в могущество случайности, хотя могли

⁴² Если правы создатели музейных диарам, этот сценарий вполне оправдался для некоторых пещерных людей. Кто мы такие, чтобы сомневаться в этом?

бы взяться за ум и согласиться, что мы правы.

Вот, скажем, наш кузен Герман. Он настоящий самородок – умеет делать приемники, которые ловят передачи с кораблей пришельцев. Кроме того, он уверен, что правительство, ученые, а особенно ученые на службе правительства, подтасовывают научные данные, и все это – часть масштабного заговора⁴³. Герман одержим идеей глобального потепления, и ему было бы куда легче, не считай он, будто его целиком и полностью сфальсифицировали. Расставим все по местам: среди научного сообщества бытует практически единодушное мнение, что глобальное потепление действительно имеет место и является результатом действий человека. С точки зрения связей с общественностью, ситуацию осложняет то обстоятельство, что, как опять же единодушно считают ученые⁴⁴, за следующие 10 лет средняя температура на планете повысится примерно на одну десятую градуса по Цельсию. На первый взгляд немного, но с течением времени потепление может оказать сокрушительное воздействие на природу.

Герман живет в Филадельфии, где, согласно «Википедии», средняя температура в декабре составляет около 2,2° С. Но вот, представьте себе, однажды у нас выдастся необычайно теплое Рождество – все праздники будет стоять температура около 10° С. Тогда Герман перестанет писать гнев-

⁴³ В котором наверняка замешана Трехсторонняя комиссия. Как же без нее.

⁴⁴ В частности, Межправительственный комитет по переменам климата. Звучит очень официально. Не сомневаемся, Герман это учтет.

ные письма в правительство и милостиво смиритесь с фактом: с его точки зрения, глобальное потепление станет реальностью. Но в данном случае нам бы не хотелось заполнить Германа в союзники на основании такого однократного наблюдения. И вот почему.

Иногда температура бывает выше среднего, иногда ниже. Если разброс достаточно велик, мы не замечаем небольших изменений от года до года. На самом деле нет ничего необычного в том, что температура стоит на 10°C выше среднего, как нет ничего необычного и в том, что она падает на 10°C ниже среднего. Что будет через год, когда в Филадельфии выдастся холодная зима и средняя температура в декабре будет -7°C ? Тогда кузен Герман будет утверждать, что шум вокруг глобального потепления подняли зря, и снова придется мастерить свой шлем из фольги. Он не видит, в чем сложность, поскольку сосредоточен на отдельных днях, а не на тенденции. Ну и что? У вас на совести наверняка есть грешки и похуже.

Даже освободившись от тревог за кошмарное будущее планеты, Герман все равно найдет о чем тревожиться. Почему непонятные мелкие частички в его стакане с водой все кружатся и кружатся? Какова вероятность, что через двести лет в Землю врежется гигантский астероид? Долго ли проживет его ручной нейтрон? Возможно, раньше все это вас не заботило, но каждое из этих явлений – результат последовательности случайных событий в действии.

I. Если физический мир настолько непредсказуем, почему мы замечаем это далеко не всегда?

На отдаленной ветке генеалогического дерева (и на пыльной дальней полке генофонда) находится дядя Луи. Он человек по-своему обаятельный – сыплет солеными шуточками и постоянно просит маленьких детишек дернуть его за палец. Племянники и племянницы дяди Луи заплатили за колледж монетками в четверть доллара, которые он натащил из ушей. Однако дядя Луи – патологический азартный игрок. Дядя Луи готов заключать пари по поводу чего угодно – чем кончится фильм, кто победит в гонке раков-отшельников, ну и так далее. Поэтому дядя Луи и Дейв прячутся от тети Мейвис в туалете и играют там в старую добрую игру – бросают монетку. Ну что в этом плохого, скажите на милость, если только монетка не крапленая?

Чтобы понять суть игры, надо объяснить, что значит «некрапленая монетка». Если монетку кидали миллион раз, то решка будет выпадать примерно в половине раз. Чем дольше бросают монетку, тем ближе к 50 % будет частота решек. Кроме того, монетка «некрапленая», если каждый следующий бросок не зависит от предыдущего. Неважно, что выпало только что – орел или решка: в следующий раз с той же

вероятностью в 50 % выпадет орел или решка.

Но вот в чем загвоздка. Хотя мы ожидаем, что после миллиона бросков дядя Луи и Дейв будут идти примерно ноздря в ноздю, мы имеем в виду именно дробь.

Технический уголок дяди Дейва. Немного статистики

В начале книги мы пообещали вам следить, чтобы количество формул не превышало абсолютного минимума. Вот уже некоторое время мы придерживаемся правила «без формул», но при чтении такой математикоемкой главы, как эта, наверняка найдутся мазохисты, которые потребуют еще. «Откуда взялись эти числа?» – слышится ваш вопль. Поэтому вот вам еще капелька математики.

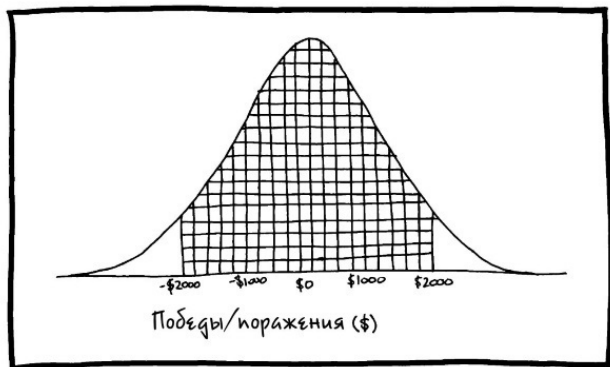
Когда дядя Луи бросает некрапленую монетку, существует, как мы упоминали, достаточно высокая вероятность, что решка будет выпадать примерно в половине раз. Насколько точно? Есть полезное правило: разброс результатов будет примерно равен квадратному корню из удвоенного ожидаемого количества решек (то есть «побед»). Для простоты мы немного сжульничали, но основную картину это не меняет. Так что если вы бросаете монетку миллион раз, то, скорее всего, получите решку полмиллиона раз плюс-минус 1000 раз.

Если Луи с Дейвом бросают монетку миллион раз, Луи может и выиграть много денег, и проиграть много денег, зато утешением ему станет мысль о том, что все равно он выигрывал почти 50 % раз. Если он

выиграет 501 тысячу раз (на тысячу выигрышей больше половины), то все равно окажется, что он выигрывал всего 50,1 % раз. Это и в самом деле напрасная трата времени и не слишком надежный способ сорвать приличный куш (или проигратся в дым).

В полновесных долларах картина будет иной. После миллиона бросков весьма вероятно, что Дейв или дядя Луи выиграют примерно на тысячу раз больше половины и сорвут приличный куш (или наоборот). Если вам интересно, откуда взялось это число – 1000, – рекомендуем посетить «Технический уголок дяди Дейва». Если неинтересно, ничего страшного. Это не входит в обязательную литературу по предмету.

Нас должно радовать, что в наших силах предсказать вероятность едва ли не любого исхода. Например, в игре в миллион подбрасываний Луи (или Дейв) вправе ожидать различных результатов игры со следующими вероятностями:

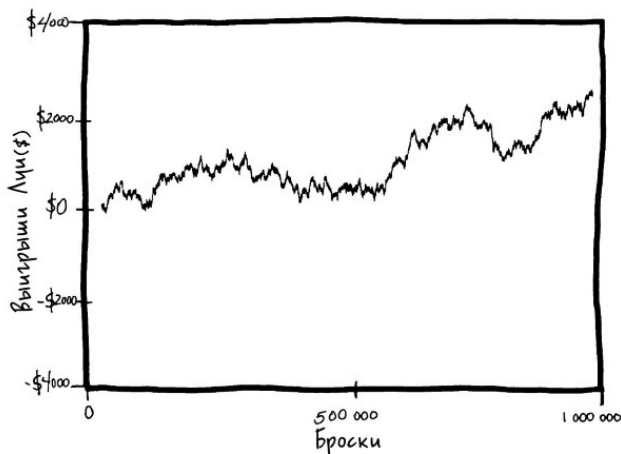


Чем выше кривая, тем вероятнее такой исход. Самый вероятный результат – это что они будут квиты, но Луи может выиграть (или проиграть) одну-две тысячи и при этом не слишком удивляться своему (не)везению. Хвостики по обеим сторонам графика означают, что крайне маловероятно, чтобы Дейв или дядя Луи выигрывали в подавляющем большинстве случаев. Однако, строго говоря, не исключено, что Луи бросит монетку миллион раз и каждый раз будет выпадать решка. С другой стороны, вероятность такого исхода так мала, что слово «микроскопический» рядом с ней кажется наглым преувеличением.

Если бы за везением Луи или Дейва в ходе игры следил математик, он бы описал их прогресс как «случайное блуждание». Чтобы понять, что это такое, найдите какой-нибудь неподвижный предмет, например фонарный столб. Теперь

встаньте рядом с ним и бросьте монетку. Если выпадет решка, сделайте шаг на запад, а если выпадет орел – на восток. С течением времени вы с равной вероятностью окажетесь к востоку или к западу от столба, но при этом в среднем будете от него удаляться⁴⁵.

Вместо того чтобы просто описывать везение дяди Луи, мы докажем свою точку зрения тем, что просто сядем и подбросим монетку миллион раз. Ну, как дела у Луи?



Только поглядите! Он выиграл у своего бедного, изнуренного интеллектуальным трудом племянника-студента целых

⁴⁵ Кроме того, вы рискуете оказаться посреди проезжей части, бросая в воздух мелочь. Такие опасные эксперименты лучше предоставить самим математикам.

2000 долларов! Если вы посмотрите на то, как фортуна улыбалась Луи и как она от него отворачивалась, то наверняка заметите тенденции. Возможно, примерно в середине игры у Луи выдалась чередa выигрышей. Дело не в том, что у него «крапленая» монетка, в которую со стороны решки впаян кусочек свинца, дело не в том, что Луи – закоренелый шулер. Это просто результат того, что ваш мозг видит закономерности там, где их нет. Если вы когда-нибудь вкладывали деньги в ценные бумаги, то, вероятно, наблюдали такие же закономерности, когда индекс промышленных акций Доу-Джонса вдруг в течение двух месяцев кряду держался выше среднего⁴⁶

⁴⁶ Мы писали эти строки в начале 2009 года, когда рыночные тенденции в целом представляются определенно неслучайными.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.