

Дэйв
ГОЛДБЕРГ

Джефф
БЛОМКВИСТ

«...Эта книга достойна быть
в ряду таких книг о физике,
как книги Перельмана
и Хокинга!»



ВСЕЛЕННАЯ:
РУКОВОДСТВО
ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ,
ИЛИ

Как выжить среди **черных дыр,**
парадоксов времени
и квантовой **неопределенности**

Annotation

Книга «Вселенная. Руководство по эксплуатации» — идеальный путеводитель по самым важным — и, конечно, самым упоительным — 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 Г. 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!

- [Дэйв Голдберг, Джефф Бломквист](#)
 -
 - [ВВЕДЕНИЕ](#)
 - [Глава 1. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ](#)
 -
 - [I. Почему нельзя определить, с какой скоростью плывет корабль в тумане?](#)
 - [II. С какой скоростью летит луч света, если бежишь рядом с ним?](#)
 - [III. Если летишь в звездолете со скоростью, близкой к скорости света, какие ужасы ждут тебя по возвращении?](#)
 - [IV. Можно ли развить скорость света \(и поглядеть на себя в зеркало\)?](#)
 - [V. А разве относительность не придает атомам бесконечную энергию?](#)
 - [Глава 2. КВАНТОВЫЕ СТРАННОСТИ](#)
 -
 - [I. Из чего состоит свет — из крошечных частиц или из большой волны?](#)
 - [II. Можно ли изменить реальность, если просто смотреть на](#)

- нее?
- III. Что же такое, в самом деле, электроны, если их как следует рассмотреть?
- IV. Не квантовая ли механика виновата в том, что я постоянно все теряю?
- V. Можно ли взять и построить телепортатор, как в «Звездном пути»?
- VI. Если в лесу падает дерево и никто этого не слышит, производит ли оно грохот?
- Глава 3. СЛУЧАЙНОСТЬ
 -
 - I. Если физический мир настолько непредсказуем, почему мы замечаем это далеко не всегда?
 - II. Что такое радиоуглеродный метод датировки?
 - III. А нельзя ли считать, что Господь играет со Вселенной в кости?
- Глава 4. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ
 -
 - I. Зачем нам вообще нужен ускоритель стоимостью в несколько миллиардов долларов?
 - II. Как открывают субатомные частицы?
 - III. Зачем разным частицам так много разных правил?
 - IV. Откуда же берутся эти силы?
 - V. Почему я не могу сбросить вес (или массу) до нуля?
 - VI. Как же старина БАК, такой малюсенький, уничтожит такой большой мир?
 - VII. Удовлетворятся ли физики достигнутым, обнаружив частицу Хиггса?
 - Приложение А
- Глава 5. МОЖНО ЛИ ПОСТРОИТЬ МАШИНУ ВРЕМЕНИ?
 -
 - I. Можно ли построить вечный двигатель?
 - II. Реальны ли черные дыры или физики просто выдумали их от скуки?
 - III. Что будет, если упадешь в черную дыру?
 - IV. А можно вернуться во времени назад и купить акции «Майкрософт»?
 - V. Так кто же путешествует во времени правильно?
 - VI. Так как же сделать действующую машину времени?

- VII. Так каковы же мои шансы изменить прошлое?
- Глава 6. РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ
 -
 - I. Где находится центр Вселенной?
 - II. Как выглядит край Вселенной?
 - III. Из чего состоит пустое пространство?
 - IV. Насколько пусто пространство?
 - V. Где же находится все вещество?
 - VI. Почему Вселенная ускоряется?
 - VII. Какова форма Вселенной?
 - VIII. Куда расширяется Вселенная?
- Глава 7. БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ
 -
 - I. Почему мы не можем проследить все развитие Вселенной до самого Большого взрыва?
 - II. Разве Вселенная не наполнена (до половины) антиматерией?
 - III. Откуда берутся атомы?
 - IV. Каким образом частицы набирают весь свой вес? Золотой век кварков
 - V. Существует ли где-нибудь в пространстве-времени твоя точная копия?
 - VI. Откуда взялась материя?
 - VII. Что произошло в Самом начале времен?
 - VIII. Что было до начала?
- Глава 8. ИНОПЛАНЕТЯНЕ
 -
 - I. Ну и где они все?
 - II. Сколько существует планет, пригодных для обитания?
 - III. Долго ли живут разумные цивилизации?
 - IV. Каковы шансы, что на нашей планете не зародилась бы разумная жизнь?
- Глава 9. БУДУЩЕЕ
 -
 - I. Что такое темная материя?
 - II. Долго ли живут протоны?
 - III. Какова масса нейтрино?
 - IV. Чего мы не сможем узнать в ближайшем будущем?
- ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА](#)

- [notes](#)

- [1](#)
- [2](#)
- [3](#)
- [4](#)
- [5](#)
- [6](#)
- [7](#)
- [8](#)
- [9](#)
- [10](#)
- [11](#)
- [12](#)
- [13](#)
- [14](#)
- [15](#)
- [16](#)
- [17](#)
- [18](#)
- [19](#)
- [20](#)
- [21](#)
- [22](#)
- [23](#)
- [24](#)
- [25](#)
- [26](#)
- [27](#)
- [28](#)
- [29](#)
- [30](#)
- [31](#)
- [32](#)
- [33](#)
- [34](#)
- [35](#)
- [36](#)
- [37](#)

- [38](#)
- [39](#)
- [40](#)
- [41](#)
- [42](#)
- [43](#)
- [44](#)
- [45](#)
- [46](#)
- [47](#)
- [48](#)
- [49](#)
- [50](#)
- [51](#)
- [52](#)
- [53](#)
- [54](#)
- [55](#)
- [56](#)
- [57](#)
- [58](#)
- [59](#)
- [60](#)
- [61](#)
- [62](#)
- [63](#)
- [64](#)
- [65](#)
- [66](#)
- [67](#)
- [68](#)
- [69](#)
- [70](#)
- [71](#)
- [72](#)
- [73](#)
- [74](#)
- [75](#)
- [76](#)

- [77](#)
- [78](#)
- [79](#)
- [80](#)
- [81](#)
- [82](#)
- [83](#)
- [84](#)
- [85](#)
- [86](#)
- [87](#)
- [88](#)
- [89](#)
- [90](#)
- [91](#)
- [92](#)
- [93](#)
- [94](#)
- [95](#)
- [96](#)
- [97](#)
- [98](#)
- [99](#)
- [100](#)
- [101](#)
- [102](#)
- [103](#)
- [104](#)
- [105](#)
- [106](#)
- [107](#)
- [108](#)
- [109](#)
- [110](#)
- [111](#)
- [112](#)
- [113](#)
- [114](#)
- [115](#)

- [116](#)
 - [117](#)
 - [118](#)
 - [119](#)
 - [120](#)
 - [121](#)
 - [122](#)
 - [123](#)
 - [124](#)
 - [125](#)
 - [126](#)
 - [127](#)
 - [128](#)
 - [129](#)
 - [130](#)
 - [131](#)
 - [132](#)
 - [133](#)
 - [134](#)
 - [135](#)
 - [136](#)
 - [137](#)
 - [138](#)
 - [139](#)
 - [140](#)
 - [141](#)
 - [142](#)
 - [143](#)
 - [144](#)
 - [145](#)
 - [146](#)
 - [147](#)
 - [148](#)
 - [149](#)
 - [150](#)
 - [151](#)
 - [152](#)
 - [153](#)
-

Дэйв Голдберг, Джефф Бломквист

Вселенная. Руководство по эксплуатации

«Если бы такая книга попала мне в руки в детстве, у меня была бы другая профессия!»

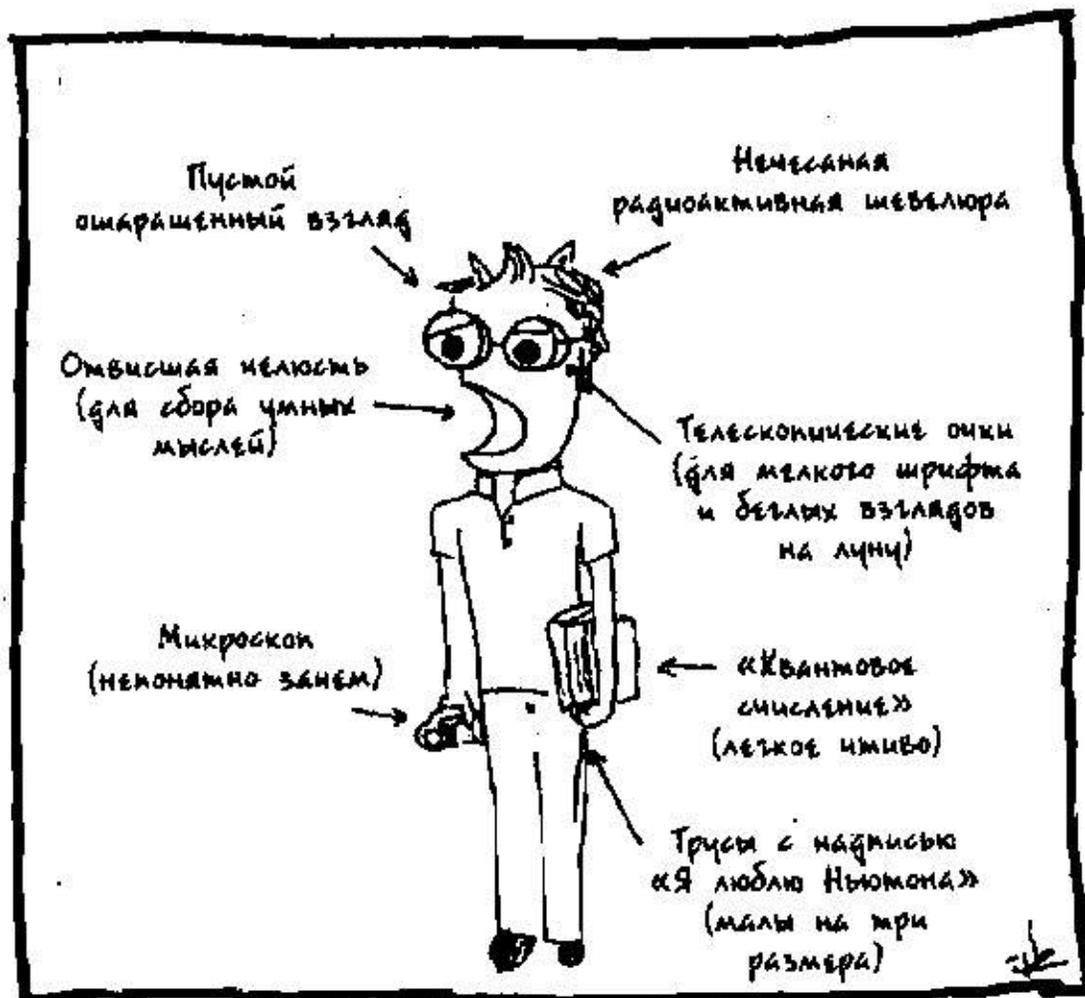
«Эта книга — для тех, у кого нет специального образования, зато есть мозги и неуемное любопытство. Современная физика подана в ней как стройная система, описанная легко, весело, понятно и даже с картинками — и безо всяких формул!»

«Настоящий подарок для всех, кого интересует современная наука и ее достижения, — от любознательного старшеклассника до его любимого учителя, от студента-филолога до доктора физико-математических наук».

ВСЕЛЕННАЯ. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Как выжить среди черных дыр, временных парадоксов и квантовой неопределенности

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 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 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 данный вопрос. Как нам представляется, проблема в том, что практическая сторона физики выпячивается в ущерб интересной. Даже люди технического склада вроде инженеров или программистов 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 изнуря 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 улетучивается.

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 отвлечь 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 так 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 рядом 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:

- Я слышал, 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 не более чем 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, побудивших 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 молний^[2].

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 графики^[3] и вообще ничего такого, из-за чего издание книги могло бы стать дороже.

Наш подход будет очень простым: 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 картинкой, 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, надеемся, 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 проделаем именно так, как, по вашему мнению, положено ученым, то есть крайне Заковыристо и обиняками.

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 уьется 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 написанное — это именно аналогий, 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



ФОТОН В УЖАСЕ ВСПОМИНАЕТ СОБЫТИЯ ПОСЛЕДНИХ СТА ЛЕТ

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

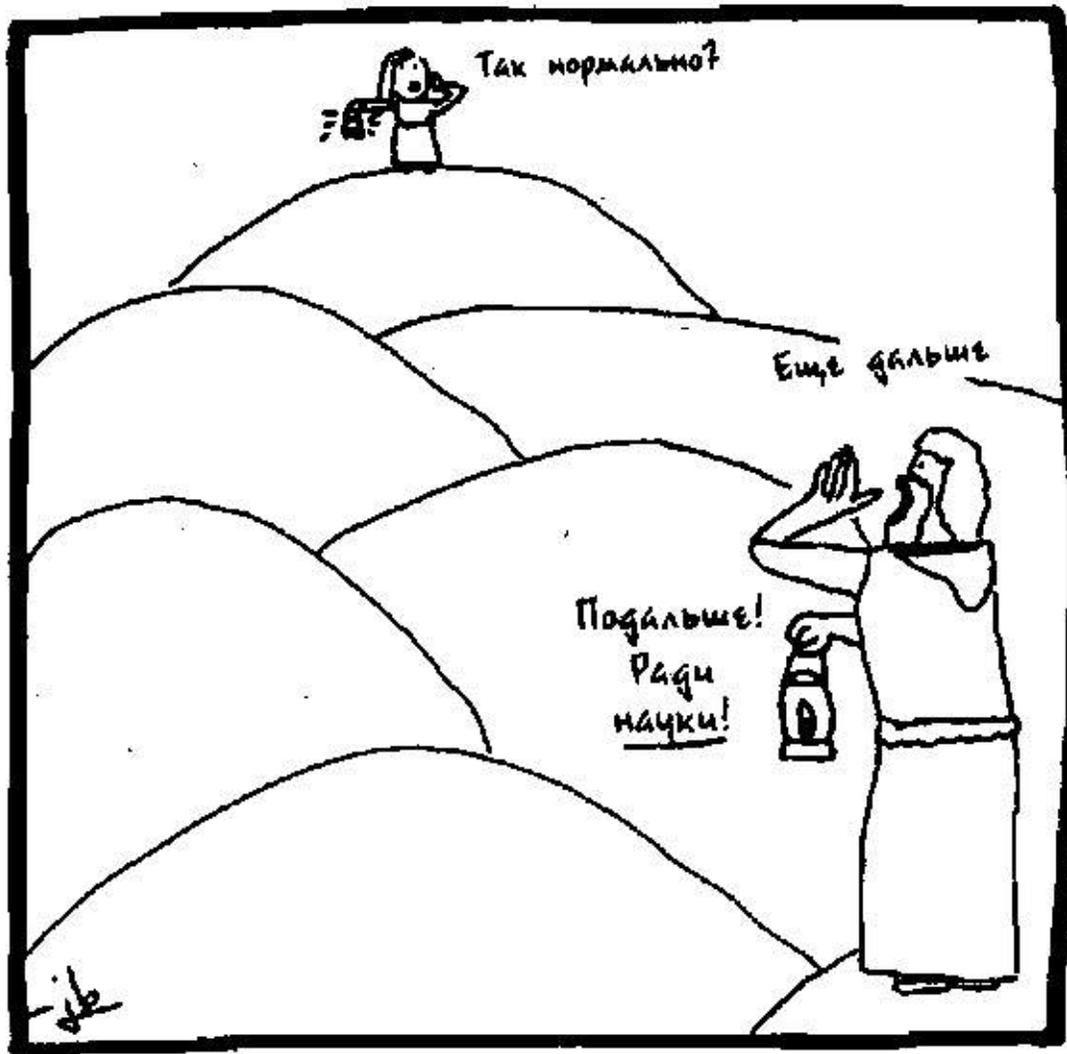
Какими бы ни были воспоминания о школьных годах, в них всегда есть одна общая деталь: в каждом классе всегда находилась горстка детей — самых «крутых», — пылающих неутолимой страстью высмеивать все и вся вокруг. Вот почему нам так нравится считать себя «крутыми ребятами» в физике — если такое вообще возможно. Приведем пример^[4].

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.

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 надеялся, 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.



ГАЛИЛЕЙ ИЗОБРЕТАЕТ ИДЕАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОТШИВАТЬ НАДОЕВШИХ ПОКЛОННИЦ

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 проще^[5].

То есть секунда, как и размер вашей шляпы, — 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 определяем метр как $1/299792458$ 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 этом^[6].

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.

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 света^[7].

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 физику 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 пожитки^[8] 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 достаточно 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).

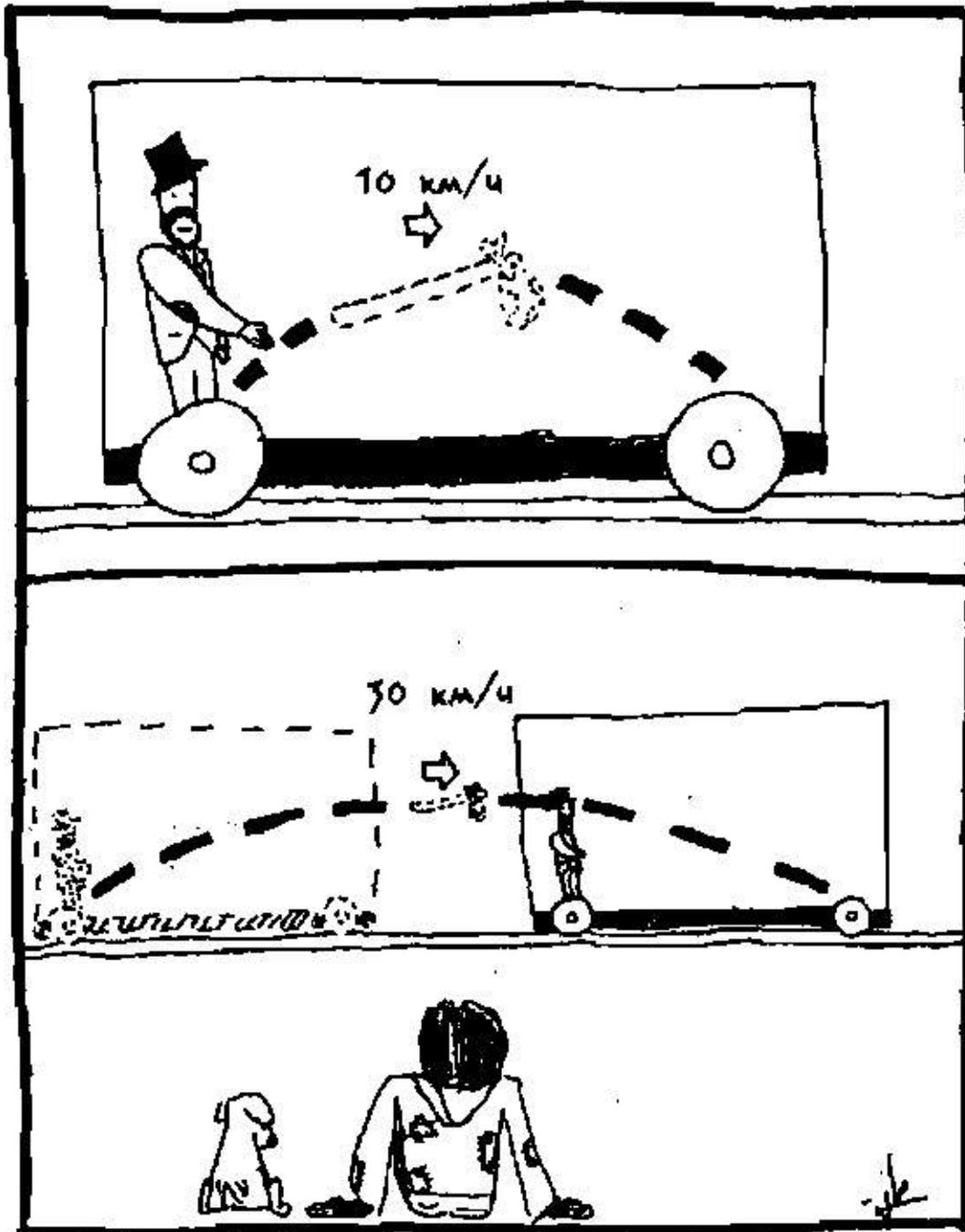
Согласно Галилею (и Исааку Ньютону, и в конечном итоге Эйнштейну), нет буквально никакого эксперимента, который в поезде, движущемся прямолинейно и равномерно, привел бы к иным результатам, чем если бы вы сидели неподвижно. Вспомните, как вы ехали в машине и швырялись в братишку фантиками, пока родители 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 ультрасовременная лаборатория, оборудованная лазерами (лазерный луч сделан из света и, естественно, движется со скоростью c). В одном конце поезда расположен лазер, которым управляет Рыжий.



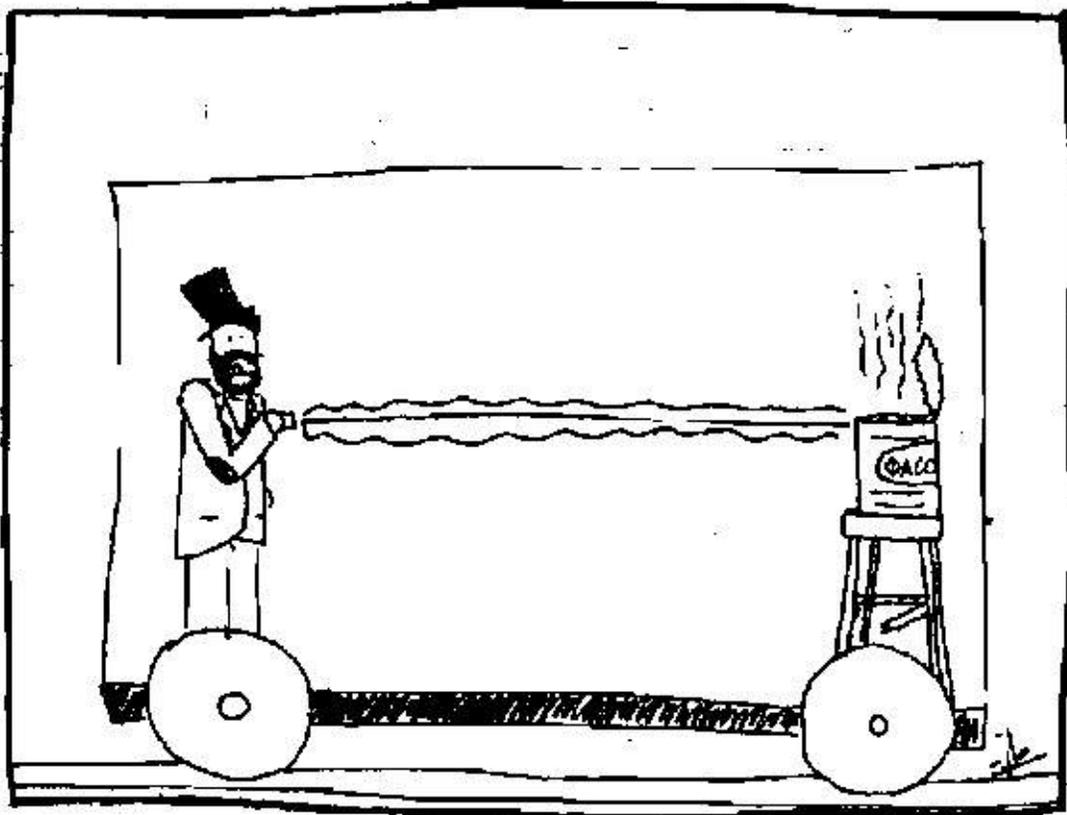
В другом конце поезда расположена открытая банка консервированной

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 . Совсем не со скоростью c !

Неужели великий Эйнштейн ошибался?^[9]

Позади всего каких-то 28 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 подряд^[10].

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 — навстречу взбешенному животному или от него. С другой стороны, c есть c , 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 фотона^[11] — с самим Альбертом Эйнштейном.

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

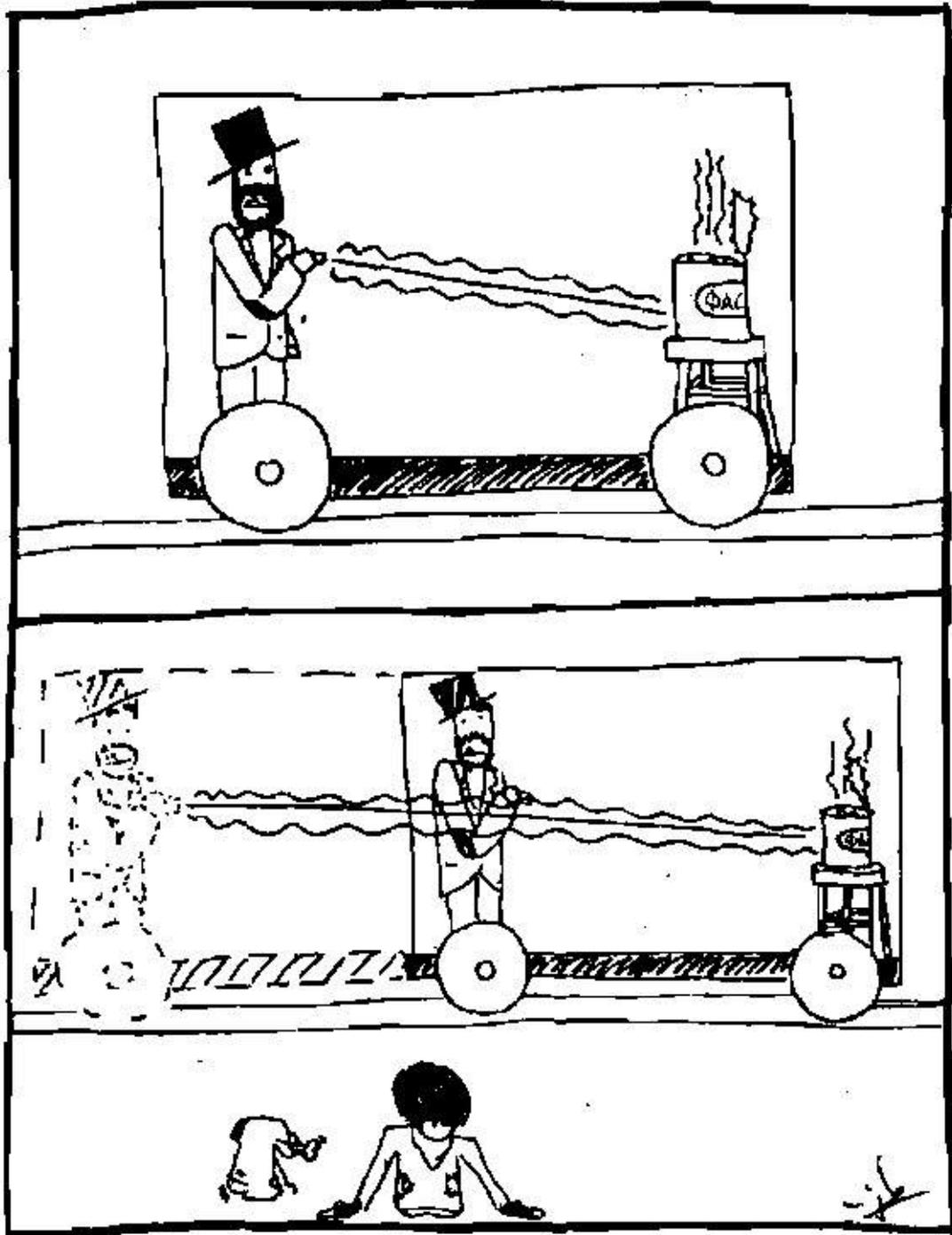
расстояния до ближайшей звезды.

Теперь давайте сделаем предыдущий пример еще более фантастическим и подарим нашему бродячему физику межгалактический товарный вагон. Длиной 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?

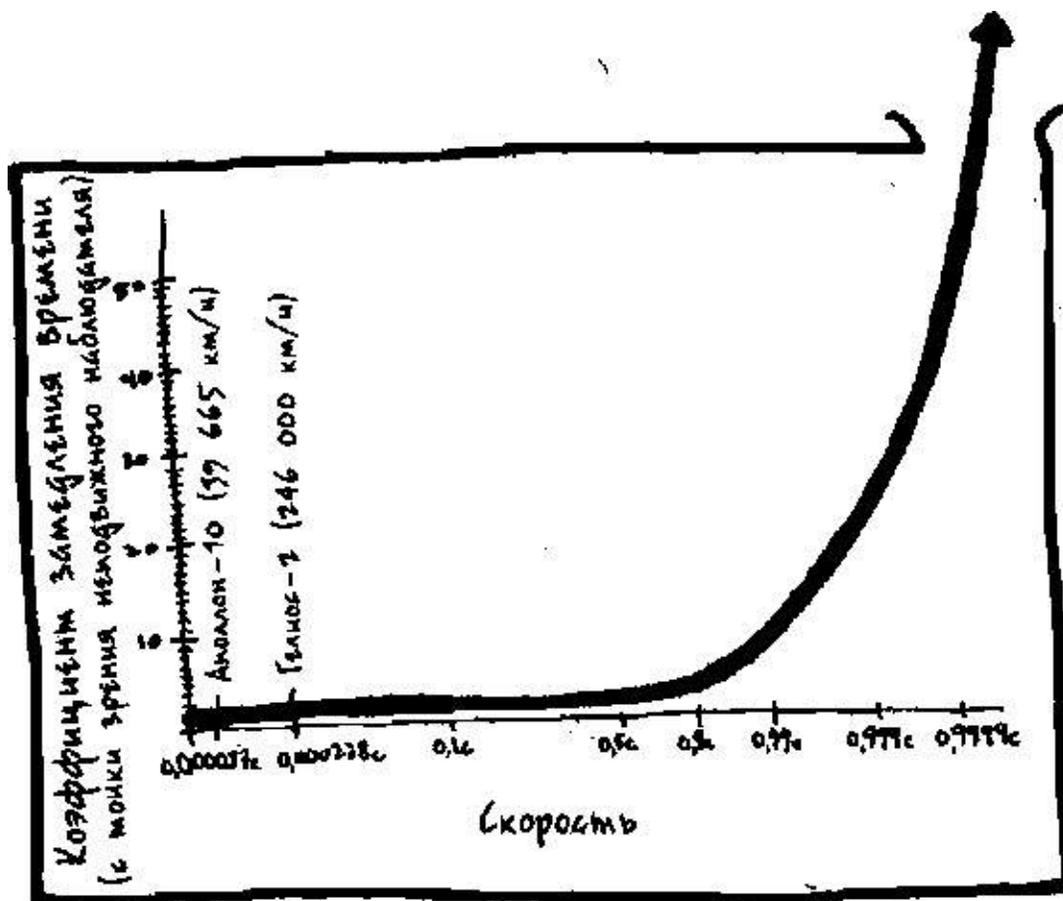
Оба^[12].



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 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 точных 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 десятиллионную 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 соотношение^[13].



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 ничуть 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 обманывает^[14].

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 самое, 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

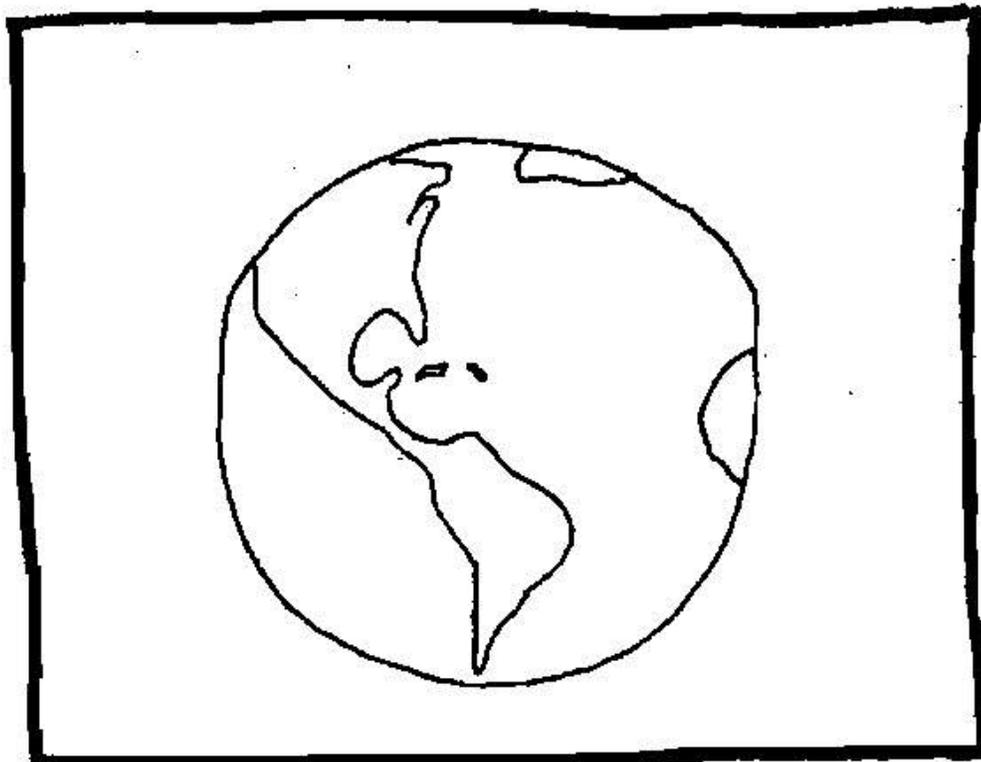
пульс, и все прочее) все это время были замедленны. Эмили отсутствовала не два года, а целых 14!

Как ни верти, это правда. Бонни стукнет 44, а Эмили — 32. Можно даже считать движение со скоростью, близкой к Скорости света, своего рода путешествием во времени, только путешествовать вы все равно будете в будущее, а не в прошлое.

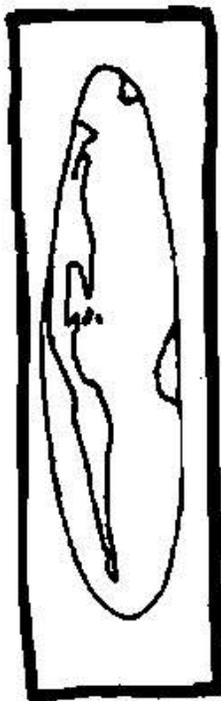
Будут и другие, не такие яркие последствия. Например, поскольку, с точки зрения Бонни, Эмили Летела прочь от Земли в течение семи лет со скоростью, близкой к скорости света, значит, она должна была пролететь семь световых лет от Земли и только потом передумала и вернулась. Значит, она пролетела почти 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 относительности 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 смотрят 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 правило, 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.

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 с

— скорость поезда (0,9 с) плюс скорость банки (0,9 с). 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 с, 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 с (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 потребуется вшестеро больше. А для того чтобы всего-навсего разогнаться с 99 % скорости света до 99,9 %, потребуется втрое больше работы.

Итак, теперь можно поработать и над вопросом шестнадцатилетнего Эйнштейна^[16]; 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 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 потребуются 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 удивительных 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 $эм$ це квадрат».

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:

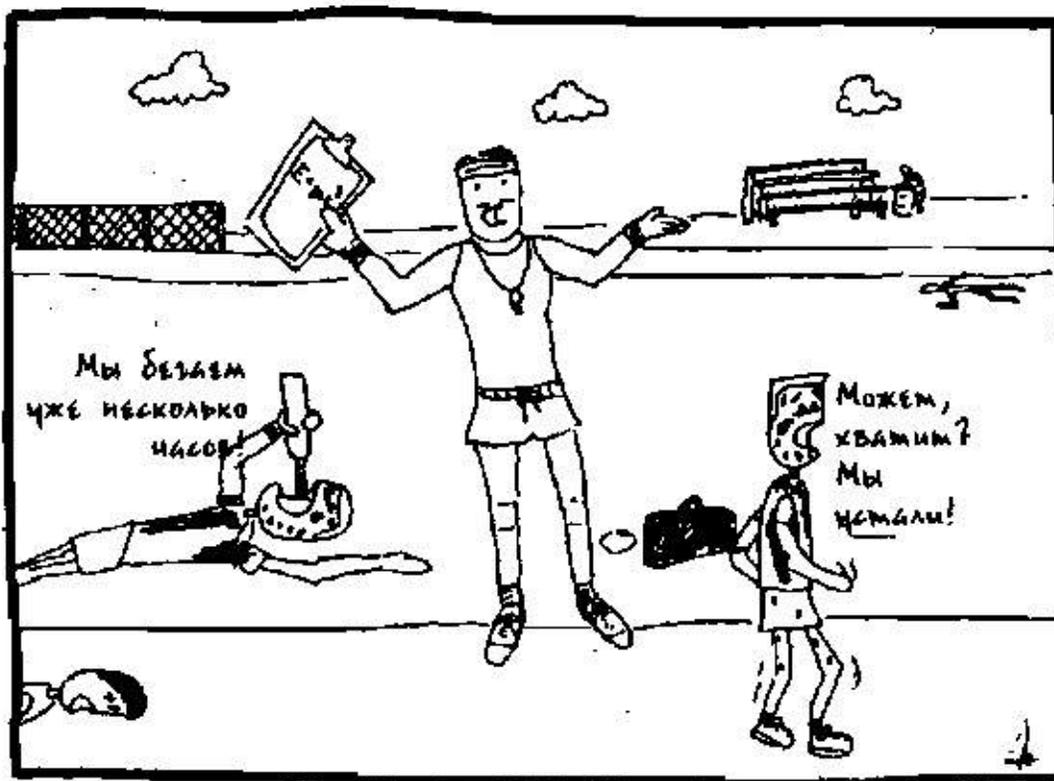
- 1) сделать так, чтобы 50 тысяч стоваттных лампочек горели целый год;

2) с лихвой обеспечить калориями все население городка Терре-Хот в штате Индиана (население 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.

Материя, как и большинство людей, не развивает свой потенциал полностью, а если не считать случаи, когда мы сталкиваем матерью 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.



— СОГЛАСНО МОИМ ВЫКЛАДКАМ,
ЭНЕРГИИ У ВАС ХОТЬ ОТБАВЛЯЙ!

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 буммания. Из каждого килограмма водорода, «сгорающего» на Солнце^[17], 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 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.

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 назвали что-нибудь важное и серьезное, даже если кто-нибудь другой уже пришел независимо к тому же выводу. Иногда величайшие мыслители не удостоиваются заслуженной славы (мы думаем о вас, Тесла), но наш 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.

Хит-парад среди физиков!
Кто самый выдающийся физик
современности?
Горячая идея!

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 олова «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 прочтаете 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 сляпашь — его состояния «квантуются».

4. Поль Адриен Морис Дирак (1902–1984), Нобелевская премия за 1933 год.

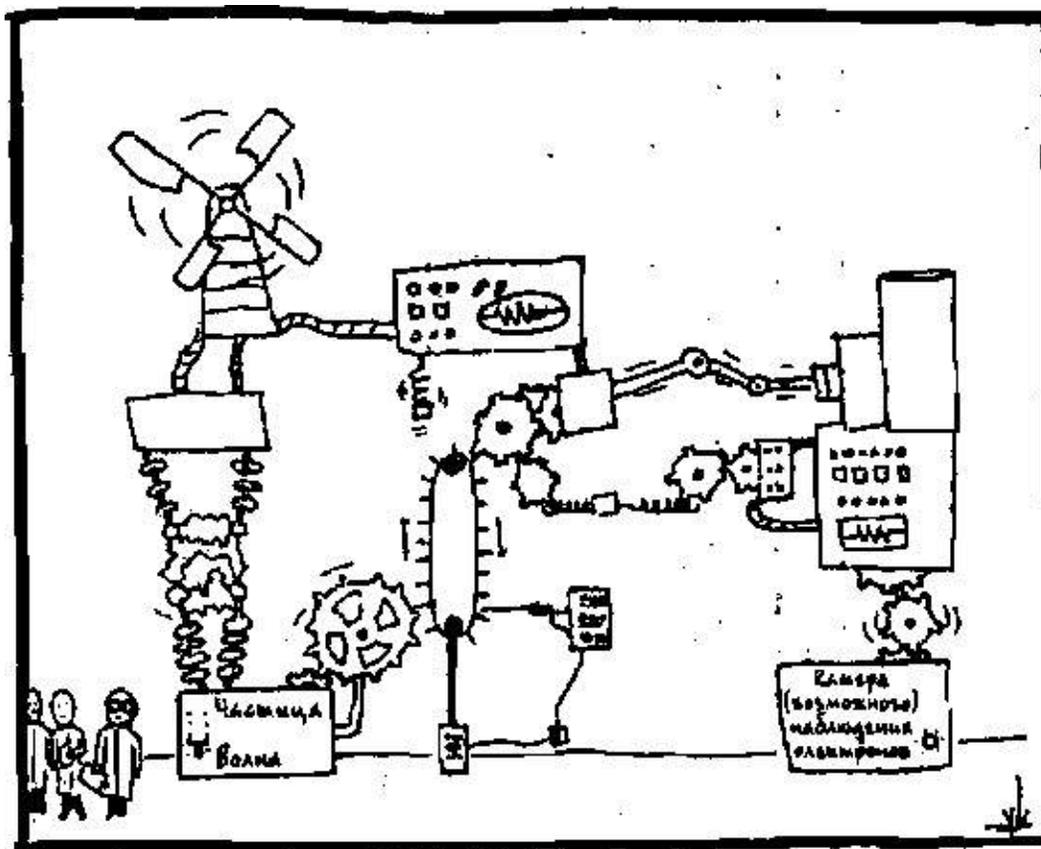
Дирак был среди тех, кто продрался сквозь целую гору уравнений, получил формулу, которая на вид казалась физически абсурдной, но решил, что «Бог, создавая этот мир, опирался на математические выкладки восхитительной красоты», и решил, что раз так, все эти уравнения все равно верны. Примерно так он и 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



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 выберёте 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 улыбочкой. 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 тест^[19].

Так живой он или мертвый —
шредингеровский кот?

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 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?

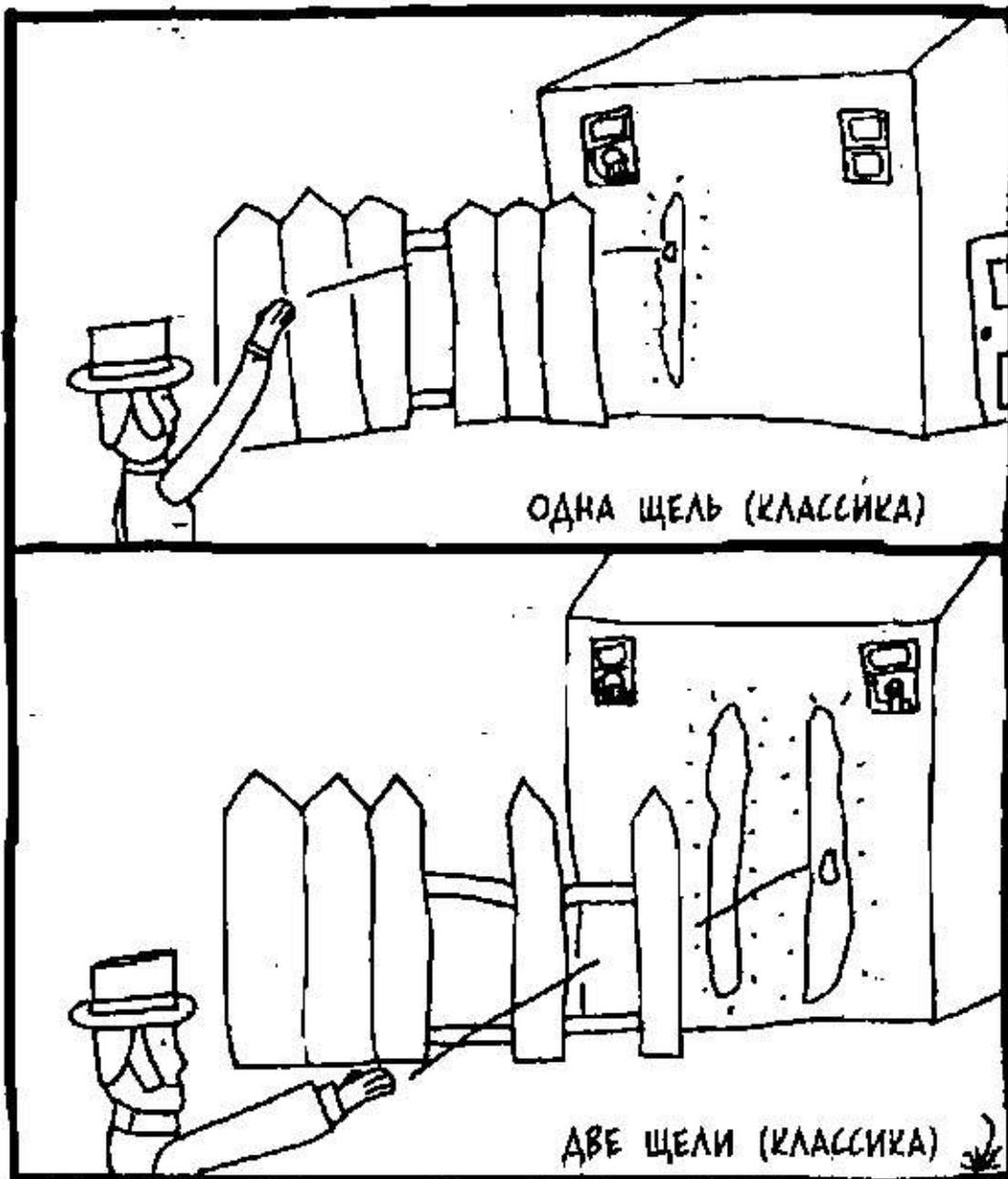
Ответы:

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

**Старинный тест
на классическую интуицию**

Квантовые странности



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 поподробнее, 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 мистер Хайд взаимоисключающи. Мистер Хайд — это мерзкое уродливое существо, которое живет внутри доктора Джекила и выскакивает на поверхность, чтобы сеять смерть и разрушение^[20].

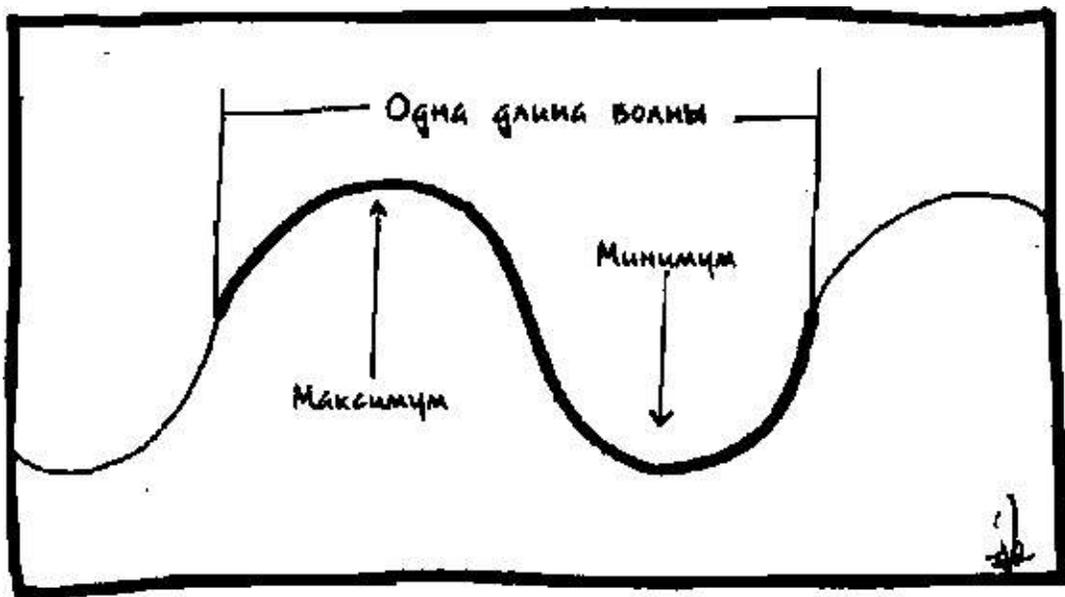
Неважно, почему это происходит — по воле случая, под настроение, в некий роковой предназначенный час, — так или иначе, Джекил превращается из благовоспитанного доктора в разъяренного социопата *мгновенно*.

Так вот, присоединимся к доктору Джекилу, который гуляет по свежавыпавшему 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 удается 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, 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 бобби ^[21] 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.

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 заковыристая дихотомия, надо объяснить, что такое волна.

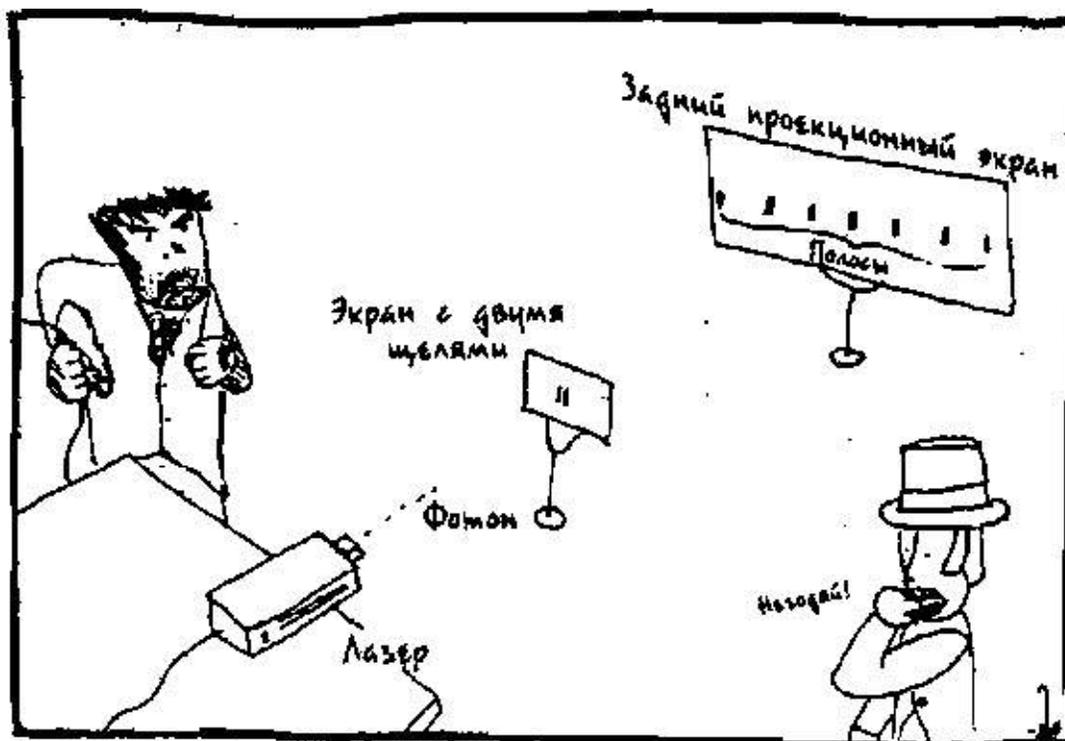
Наверняка вы уже видели волны — в море или, скажем, в собственной ванне. Водяные волны в ванне, звуковые волны в воздухе и световые волны обладают общими параметрами — амплитудой, скоростью, длиной волны.

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 рока^[22].

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} — 10^{-8} метра, а у гамма-лучей энергия еще выше. Их лучше избегать, поскольку, дай им волю, они сразу же наградят всех, до кого дотянутся, сверхъестественными способностями [\[23\]](#).

Кажется, что эти две картинки — волна и частица — очень разные. С другой стороны, оказывается, обе предсказывают в точности одно и то же. Например, мы знаем, что если посветить на зеркало, то свет отразится от зеркала и будет воспринят глазом.

Отражение очень легко объясняется представлением о частицах. Если вы хоть немного похожи на нас, то распространенная 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 равен углу отражения». А может быть, и нет. Может быть, если вы сосредоточитесь очень сильно, вы услышите главную тему из «Индианы Джонса». Тогда поверьте нам на слово. Вы знаете все об отражении фотонов. Если вы замените теннисный мячик фотоном, а гаражную дверь — зеркалом, то прекрасно опишете свет.

Разумеется, волна отражается точно так же. Представьте себе устройство скрипки или концертного зала. Акустика как таковая определяется тем, что происходит со звуковой волной, когда она отражается от стен комнаты или другого пустого пространства. Причем в точности как в случае с частицей отражение света подчиняется волшебному соотношению — «угол падения равен углу отражения».

Представляется, что все эти споры о частицах и волнах не более чем софистика: ведь обе гипотезы объясняют отражение 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?

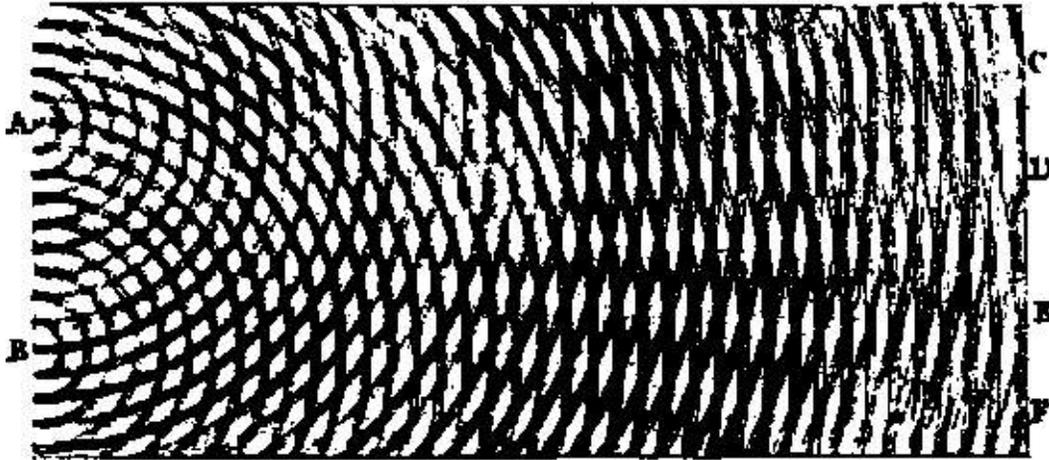
Тут и думать нечего. Он увидит на дальнем экране яркую вертикальную линию.

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 A и B, достигает противоположного экрана и создает яркие пятна в точках C, D, E и F (а также в точках выше и ниже, где Юнг обрывает схему). Знакомая картина? Как будто вы бросили камешки в пруд в точках A и B? 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 (Джекилл);
- много ярких линий = как волны (Хайд).

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

Свет, безусловно, волна. Эксперимент Юнга с двойной щелью 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 энергии, 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 воздаст 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.

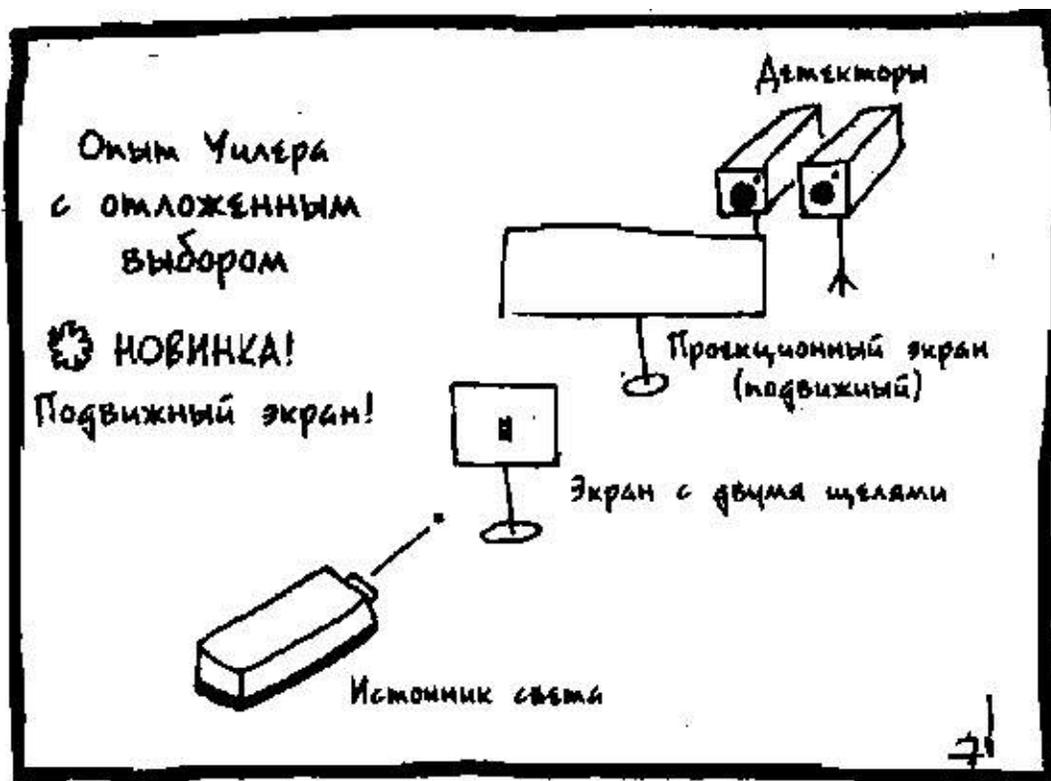
Мы уже говорили о том, что физическая интуиция в квантовой механике не помощница. Надеемся, вы не выбросили надувные нарукавники, потому что сейчас мы бросим вас на глубину.

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 Уилер, — 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 заставить 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 щель ^[24] — 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.

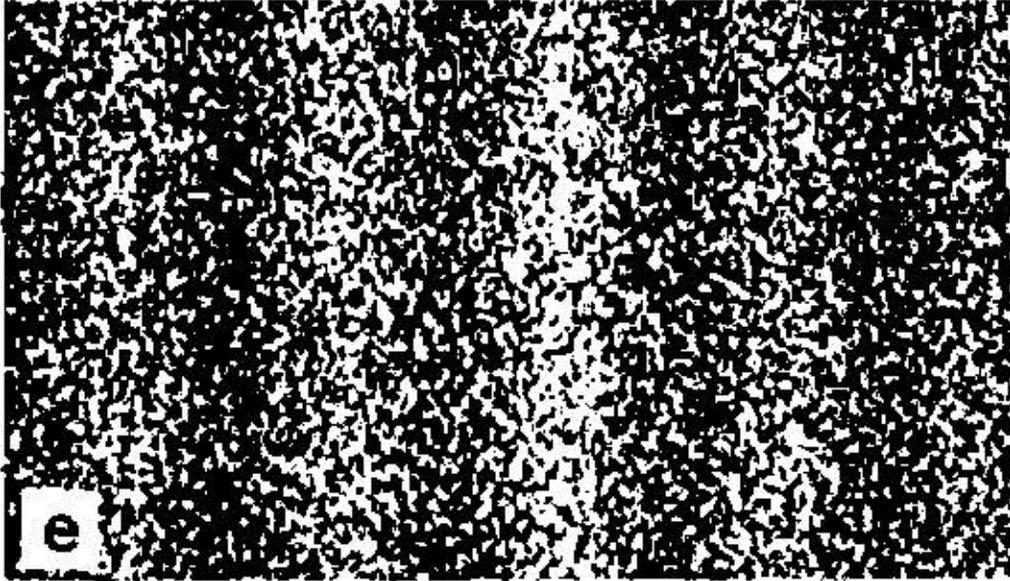
III. Что же такое, в самом деле, электроны, если их как следует рассмотреть?

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 пуляются 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 рассеять 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 подобает 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 объяснения^[25].

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 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 координаты, 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?

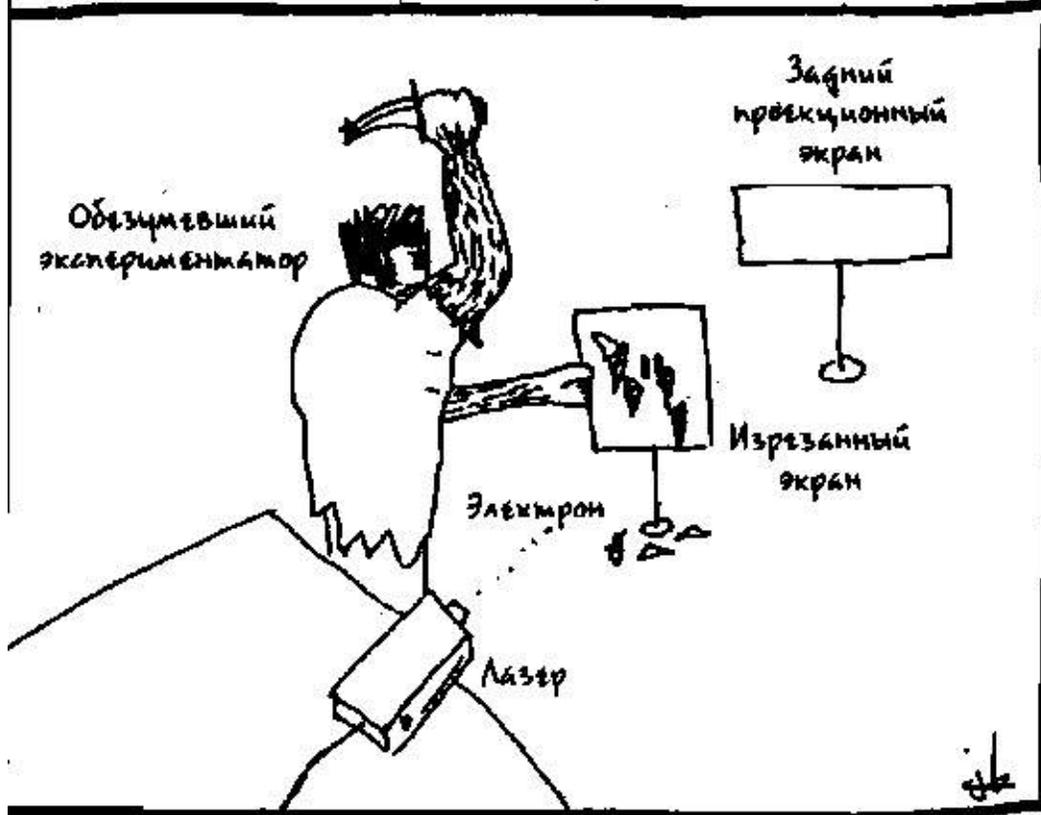
Объяснив, в чем состоит основная идея квантовых странностей, мы посвятим несколько минут беседе о некоторых ее следствиях, которые на первый взгляд кажутся невероятными, — именно их вы скорее всего сочтете софистическими фокусами или чрезмерным упрощением.

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 интерферировать 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.

* Книга применяется исключительно в научных целях.
Не пытайтесь повторить эксперимент самостоятельно.



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 наоборот^[27].

В результате, если мы знаем местоположение частицы с бесконечной 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 ничего 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 коробочку^[28].

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.

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 другу^[29] 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 остальное 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 выволить 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 Вселенную, существует ненулевая вероятность^[30], что вас или еще что-нибудь внезапно «пронаблюдают» 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 чинном, — 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 точнее инструкции, описывающие 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 квадрильонов 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 нам 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 их^[32] 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 оригинальную 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, производит ли оно грохот?

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 неопределенности^[33].

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. 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 крышку^[34].

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 производить вычисления, не слишком задумываясь о том, что все это на самом деле значит^[35].

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 получаемся, 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, ваша 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 пронаблюдаем».

Чушь какая! Что за глупости — думать, будто кот может быть одновременно и живым, и мертвым! Именно это и хотел сказать Шредингер^[36].

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 появляется 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. 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 подглядывать 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 сознания^[37].

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 интерпретации квантовой механики. Все они используют те же уравнения или по крайней мере получают те же результаты^[38].

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 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 — переодетый^[39].

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 самым 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 интерпретации, причинная интерпретация Бома требует, чтобы сигналы можно было отправлять со скоростью выше

скорости света (пусть и крайне редко).

И если при обычных обстоятельствах версия Бомы 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 в обобщена настолько, что готова дать ответы на подобные вопросы, а версия Бомы — 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 звездолетов^[40].

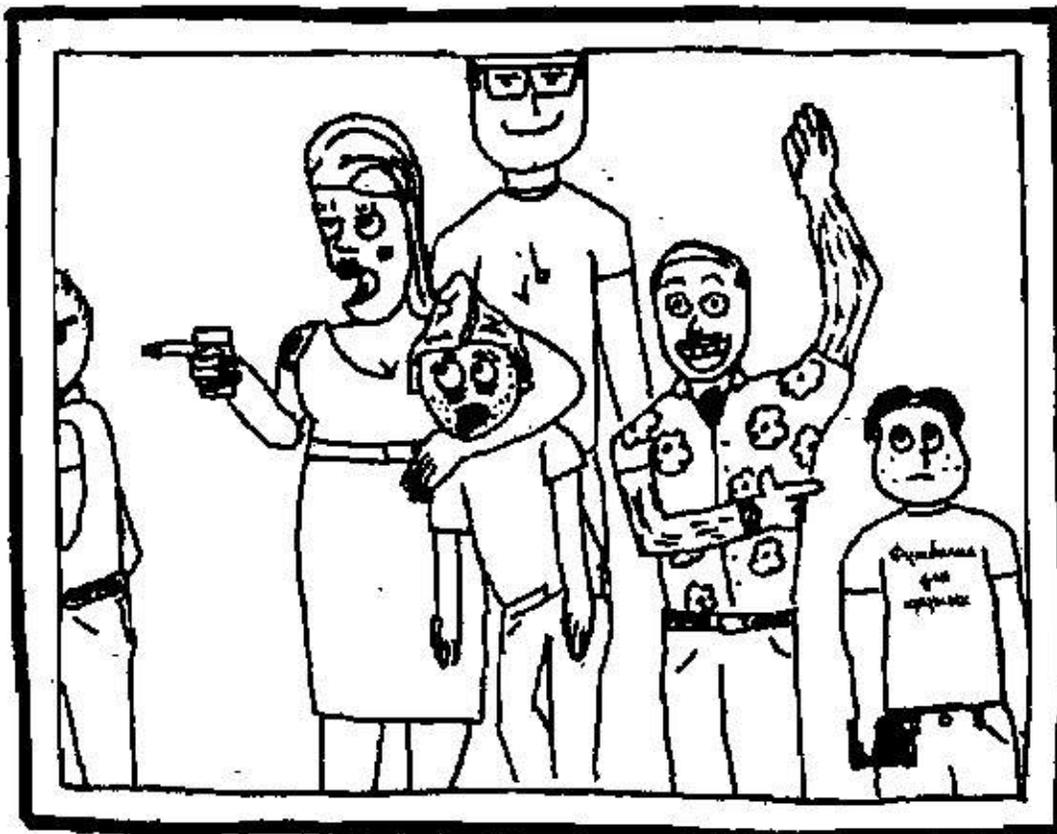
Просто не все возможности одинаково вероятны.

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.

Как выяснилось, реальность — явление сугубо местное.

Глава 3. СЛУЧАЙНОСТЬ



СЕМЕЙСТВО БЛОМБЕРГОВ

Слева направо: Дейв, мама 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 звали, 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 обчислить, 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 встроены в формулы. Но если кажется, надо Богу молиться, и этот детерминизм — ложь и обман.

Правда ли, что Господь играет
со Вселенной в кости?



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 статься, 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 тиранозавра^[42], — 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 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 заговора^[43].

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 ученые^[44], 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 градуса по Цельсию. Но вот, представьте себе, однажды у нас выдастся необычайно теплое Рождество — все праздники будет стоять температура около 10 градусов. Тогда Герман перестанет писать гневные письма в правительство и милостиво смирится с фактом: с его точки зрения, глобальное потепление станет реальностью. Но в данном случае нам бы не хотелось заполучить 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 градусов выше среднего, как нет ничего необычного и в том, что она падает на 10 градусов ниже среднего. Что будет через год, когда в Филадельфии выдастся холодная зима и средняя температура в декабре будет -7? Тогда кузен Герман будет утверждать, что шум вокруг глобального потепления подняли зря, и снова примется 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 древа (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 натаскал 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 дроби. 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.

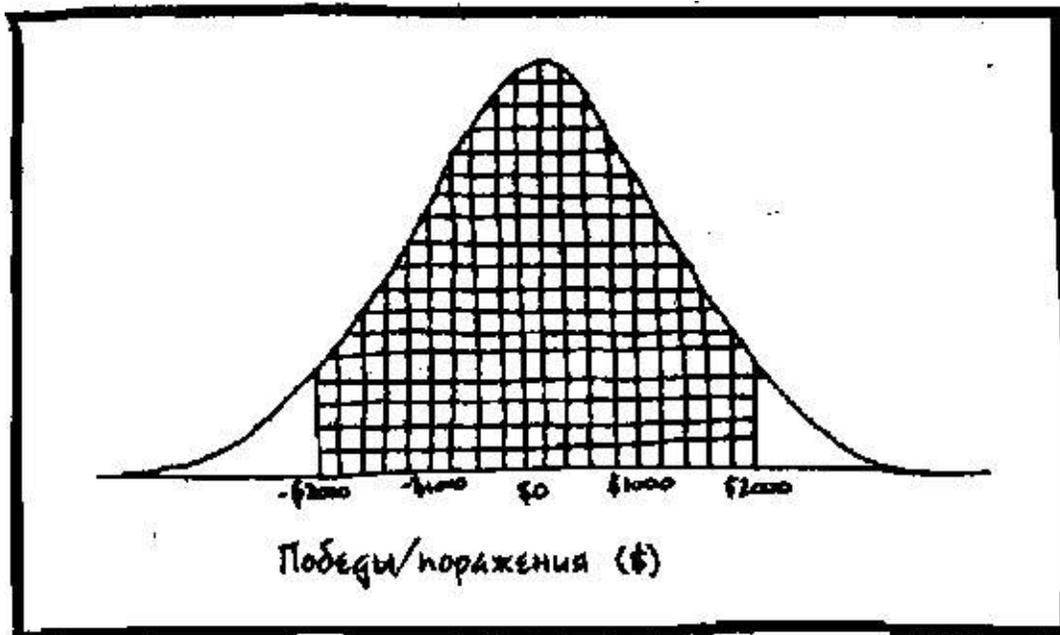
Технический уголок дяди Дейва.

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 выигрывает 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 проиграться в дым).

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:

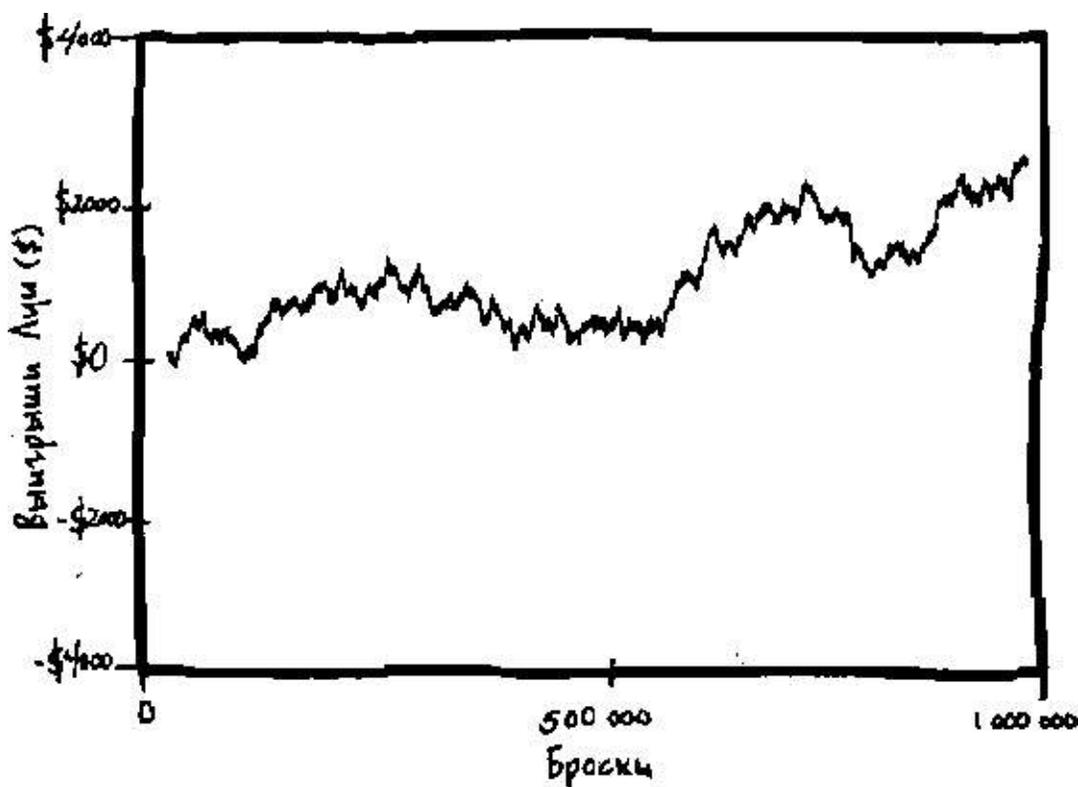


Чем выше кривая, тем вероятнее такой исход. Самый вероятный результат — это что они будут квиты, но Луи может выиграть (или проиграть) одну-две тысячи и при этом не слишком удивляться своему (не)везению. Хвостики по обеим сторонам графика означают, что крайне

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 удаляться^[45].

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 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 чередка 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 среднего^[46].

Главное, что следует усвоить, — это что нельзя пытаться покорять рынок ценных бумаг, предсказывая случайные взлеты и падения. Как всегда говорил наш мудрый дядюшка Мортимер, «покупай и храни».

Мы дали вам маленький урок статистики, поскольку собираемся разъяснить некоторые загадки, про которые вы даже не подозревали, что это загадки. Вернемся к кузену Герману, который уверен, что вся Вселенная против него^[47].

Разумеется, ему не под силу представить себе все, что способна сделать с ним Вселенная, дай ей волю, поэтому Дейв из чистой вредности дает Герману еще один повод не спать по ночам. «Представь себе, — говорит он, — что ты сидишь себе в гостиной, спокойно пишешь, приглядываешь за невидимками, которые живут у тебя в стенах, и вдруг весь воздух раз — и вылетает в кухню, а ты задыхаешься!» Ужас, правда? И, строго говоря, такое событие не лишено вероятности.

«Подумай об этом!» — советует Дейв и выбегает, оставив Германа в комнате одного.

Воздух состоит из молекул кислорода, азота, углекислого газа и еще всякой всячины, и все эти молекулы летают себе и почти никогда не натываются друг на друга. Это всем понятно, но на самом деле означает, что когда молекулы накручивают зигзаги по гостиной, их не волнует, чем заняты другие молекулы. Так что шансы на то, где находится молекула — в гостиной или в кухне, — примерно равны.

Если бы вы были олицетворением вселенной случайностей — таким «космическим генератором случайных чисел» — и если бы вашей задачей было «решать», где будет находиться каждая конкретная молекула в каждый конкретный момент, вы могли бы для этого бросать монетку. Орел — и молекула в гостиной, решка — и она в кухне. Так вот, способен ли космический генератор случайных чисел хотя бы в принципе создать в комнате вакуум?

В принципе в вашей гостиной может создаться спонтанный вакуум, но мы вправе с уверенностью сказать, что Вселенная никогда такого не

сделает. Вот почему можно не беспокоиться. Представьте себе, что в обеих комнатах находится «всего» один миллион молекул. На самом деле молекул невообразимо больше, но поскольку мы до сих пор во всем исходили из миллиона, давайте и дальше придерживаться этой линии. В среднем, половина молекул будет в гостиной и половина — в кухне (для простоты предположим, что эти помещения одинакового размера). Большую часть времени ни там, ни там не будет больше 50,1 % и меньше 49,9 % молекул. Эти числа вам уже знакомы, вы их уже видели, когда Дейв с дядей Луи бросали в туалете монетку.

Эффект, прямо скажем, не слишком осязаемый. Однако не забывайте, что эти числа отражают количество молекул в один конкретный миг. Если Герман в данную секунду жив-здоров, это не значит, что в следующую он не погибнет. Но тревожиться ему не о чем. Он не будет хвататься за горло и отчаянно втягивать воздух, даже если проживет в гостиной всю оставшуюся жизнь^[48].

Если мы расширим рамки и рассмотрим более реалистичное количество молекул в комнате, плотность воздуха в комнате, где находится Герман, не будет колебаться больше чем на одну триллионную.

Когда имеешь дело с огромными числами вроде количества молекул в комнате, требования случайности настолько строги, что их спокойно можно назвать законами. Например, воздух будет перемещаться из зоны высокого давления в зону низкого, пока везде не установится равновесие. Но ведь ничто не детерминировано, в конце концов. Все на свете — не более чем самое вероятное из множества событий, которые в принципе могут произойти.

Не хотите — не верьте. Чтобы представить дело более привычным и понятным для вас образом, позвольте познакомить вас с нашим племянником Брайаном. Брайан — очень серьезный молодой человек. Это не просто подросток, который живет в полуподвале родительского дома. Он профессионал комнатных ролевых игр и прекрасно знает, как сделать игральные кости. Он знает, что стандартная кость в виде кубика имеет равные шансы выпасть любой стороной. То есть шестерка выпадает с той же вероятностью, что и пятерка, четверка и так далее до единички. Но что будет, если мы бросим не один кубик, а несколько? Вероятность того, что выпадет одна и та же сумма, будет другой.

Объясним еще понятнее. Джефф согласился играть за варвара-полуорка в последней кампании Брайана. Чтобы создать своего персонажа, он берет набор из трех обычных костей-кубиков^[49].

Представим себе, что он бросает их одновременно. Каков наиболее вероятный сценарий? Джефф может получить сумму в три очка, но лишь в том случае, если на всех трех кубиках выпадет по единичке. С другой стороны, гораздо вероятнее, что выпадет, например, 10. Есть множество способов получить 10 очков на трех кубиках: 4-3-3, 6-2-2, 6-3-1 и так далее. Три единицы — это ситуация очень высокого порядка. Такой набор уникален. А вот сумму в 10 или 11 очков, с другой стороны, можно получить таким множеством комбинаций, что это ситуация очень высокого беспорядка.

Скажем по-другому: чашка может быть разбита множеством способов, а цела — только одним; бильярдные шары можно рассыпать по столу гораздо большим количеством способов, чем сложить в треугольник. Поскольку система — молекулы воздуха, дорогая ваза, Вселенная в целом — имеет тенденцию быть скорее в беспорядке, чем в порядке, естественное положение вещей становится все более и более случайным. Этот принцип известен как «Второй закон термодинамики». Его формулировка обнадеживает и звучит как гарантия: с течением времени беспорядок в системе возрастает.

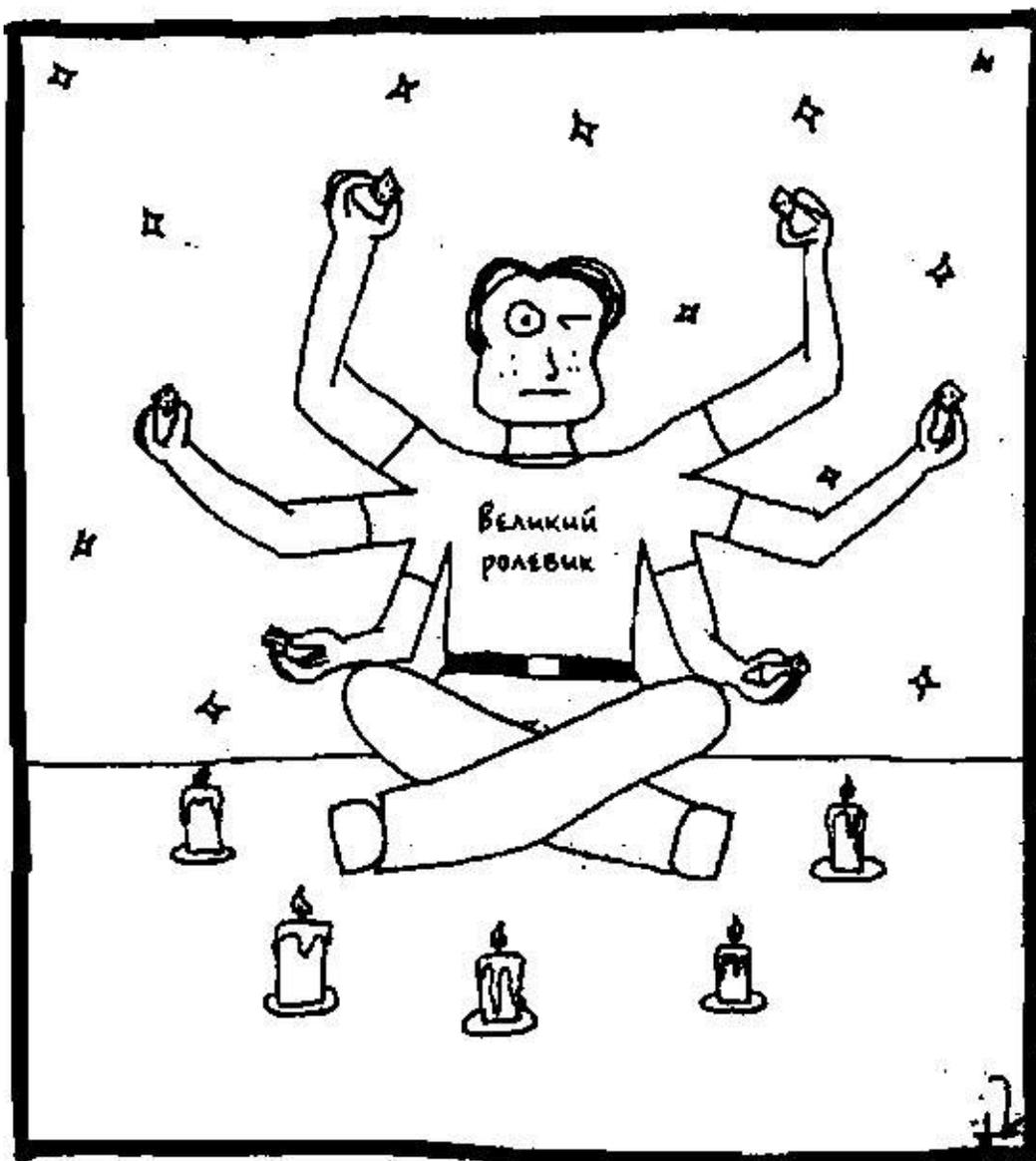
Законы физики следуют из этого основного принципа понятным и естественным образом. Например, тепло от кипящего какао будет перетекать к вам в рот, где температура близка к 36 градусам. Кажется, что это очевидно, однако из этого следуют леденящие душу (пardon за каламбур) выводы. Например, Солнце и другие звезды постоянно испускают энергию, и их жар выходит во Вселенную в целом. Между тем температура космического вакуума составляет всего три градуса по Кельвину. Это значит, что все во Вселенной — планеты, звезды, галактики, даже Земля — это, фигурально выражаясь, раскаленные докрасна угли, которые постоянно подогревают пространство. Поскольку величайшее состояние беспорядка — это когда материя и жар распространены по всему пространству, наша Вселенная в конце концов насмерть окоченеет.

Однако Герману мы про это не скажем. Ему до сих пор страшно выйти из кухни^[50]. Не нужно давать ему еще один повод для размышлений.

II. Что такое радиоуглеродный метод датировки?

Мы говорили, что молекулы в воздухе носятся туда-сюда случайным образом и случайно выбирают, где им находиться — в гостиной Германа или в его кухне. Мы непринужденно упомянули об идее космического генератора случайных чисел, будто это самая естественная вещь на свете. Но все это, в сущности, бред сивой кобылы. Вы когда-нибудь задумывались о том, откуда вообще берутся случайности?

«Случайные» процессы бывают двух разновидностей. Один тип случайных процессов предполагает, что система на самом деле детерминирована, просто у вас маловато информации или вы не умеете достаточно быстро считать или соображать, что сейчас произойдет. Вот, например, бросание монетки. Если бы вы смогли учесть точное положение, ориентацию, распределение массы, вращательный момент и направление ветра еще до того, как монетка коснется земли, то, вероятно, смогли бы и прогнать эти данные через компьютер и достаточно точно определить, как упадет монетка. Тот же самый эксперимент можно повторять при приблизительно тех же условиях еще много раз и получать тот же результат. Если бы мы сделали автоматический монеткобросатель и сумели бы его точно настроить, то у нас всегда выпадала бы решка.



КОСМИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

На практике это дело настолько неопределенное — надо учесть, как именно держат монетку перед броском, какие имеются воздушные течения, с какой силой и в каком в точности направлении бросают монетку, — что нет никакого практического способа проделать все эти вычисления. Вот почему мы бросаем монетку, когда нам нужен идеальный генератор случайных чисел. Подобным же образом последовательность карт в колоде или приземление шарика в рулетке кажутся нам совершенно случайными, а на самом деле мы просто не знаем и не можем учесть все начальные условия. Подобно рассеянному ролевику, который высчитывает ущерб от набега зомби, мы просто не способны так быстро считать.

Но стороны монетки — не атомы, а когда мы говорим о случайности на субатомном уровне, происходит нечто совсем другое. На этом уровне Вселенная по-настоящему, всерьез случайна. Дело не в том, что у нас не хватает информации, — даже если мы прокрутим фильм о Вселенной, исходя из идентичных условий, квантовая механика гарантирует, что мы не получим того же результата. В опыте с двумя щелями электрон самым настоящим, доподлинным образом не представляет себе, в какую щель пролетит, пока мы этого не пронаблюдаем и не определим.

Квантовая случайность проявляется во всевозможных микроскопических явлениях. Самые фундаментальные из них связаны с радиоактивным распадом частиц, — именно поэтому Джефф и завязал разговор о них с кузенком Германом. Герман озабочен радиоактивностью не меньше, чем тем обстоятельством, что водопроводная вода содержит психотропные вещества. Однако радиоактивность можно обращать и во зло, и на благо.

Радиоактивность возникает потому, что не все атомы стабильны. В природе наблюдается общая тенденция: система стремится содержать в себе минимальную возможную энергию. Так что если разрешить атому слишком долго сидеть на месте, он разваливается на более мелкие составляющие. Разумеется, если он в процессе теряет массу, то избавляется от нее посредством вредоносного излучения, которое называется радиацией. Если эта радиация достаточно энергична, то она способна причинять довольно-таки серьезный урон.

Давайте вспомним пример из главы 2 — когда мы разговаривали о туннелировании. Если дать изотопу урана под названием уран-238 достаточно времени, он распадется на ядро гелия и ядро тория^[51].

В среднем этот изотоп ожидает распада в течение примерно 4,5 миллиарда лет (грубо говоря, это возраст Солнца). Это называется «период полураспада». Если вы возьмете кирпич из чистого урана-238, оставите на четыре с половиной миллиарда лет, а потом посмотрите, что получилось, то обнаружите, что половина атомов в кирпиче — по-прежнему уран, а вторая половина превратилась во что-то другое. Это что-то другое — по большей части свинец, поскольку торий, в свою очередь, нестабилен и примерно за месяц распадается на протактиний. А период полураспада протактиния — всего несколько минут. И так далее до свинца.

Переход этот не постепенный. Наоборот, когда отдельный атом распадется, это происходит мгновенно^[52].

Более того, уран не знает, сколько времени он ждал распада. Часов у

него нет. Но представьте себе, как космический генератор случайных чисел смотрит на него тяжелым взглядом и бросает кость, у которой 100 квадрильонов граней. Одно число выпадает за другим, и ничего не происходит. И вдруг безо всякого предупреждения выпадает единичка. Эта единичка обозначает критический уровень нестабильности — и пуф-ф-ф! Распад. Если космический генератор случайных чисел проделывает подобную процедуру для каждого атома в течение 4,5 миллиарда лет, половина атомов по-прежнему будет ураном, а половина распадется, но предсказать, какой атом постигнет какая судьба, никак нельзя.

Эта идея поможет нам лучше понять самые разные явления. Например, углерод-14 создается под воздействием космических лучей в верхних слоях атмосферы, которые медленно циркулируют вниз и образуют воздух, а мы им дышим. Все живые существа, которые перерабатывают углерод, и растения, и животные, берут углерод-14 (вместе с гораздо более распространенным углеродом-12). Соотношение углерода-14 и углерода-12 в наших телах и стеблях растений остается постоянным и таким же, как в атмосфере в целом.

Пока мы не умрем.

После смерти организма углерод-14 начинает распадаться на азот с периодом полураспада примерно в 5700 лет. Все, что когда-то было живым, и все, что было сделано из того, что когда-то было живым, можно подвергнуть анализу. Углерод-14 распадается, а количество углерода-12 остается прежним, поэтому если мы измерим их соотношение в образце и сравним с их соотношением в атмосфере, то вычислим, как долго наш образец пробыл мертвым. Хотя радиоуглеродный анализ оказался очень эффективным инструментом в археологии и палеонтологии, основан он на квантовой физике^[53].

Мы приняли как данность, не доказывая, что атомы не знают заранее, когда они должны распасться, и что их распад, наряду с другими квантовыми явлениями, фундаментально случаен. Эта неопределенность очень обескураживает, и в мире было бы гораздо уютнее, если бы мы сумели как-то пересмотреть систему так, чтобы избавиться от неопределенности. Но возможно ли это?

III. А нельзя ли считать, что Господь играет со Вселенной в кости?

Эйнштейну очень не нравилась мысль о том, что природа и в самом деле случайна. Возможно, вы слышали его решительное: «Господь не играет со Вселенной в кости». Со стороны Эйнштейна это изрядный научный консерватизм, напоминающий старые недобрые времена кровопусканий, эфира и всепоглощающего ужаса перед ведьмами. Эйнштейн полагал, что если бы мы знали Вселенную достаточно подробно, то могли бы точно предсказать, как она будет развиваться.

Эйнштейн участвовал в основании квантовой механики, а она, как считалось, окончательно сравняла с землей твердыню детерминизма, однако на самом деле Эйнштейн никогда не был ее преданным сторонником. В течение долгого времени на все его бесконечные возражения удавалось отвечать Нильсу Бору^[54], однако к 1935 году Эйнштейн вместе с Борисом Подольским и Натаном Розеном, своими коллегами по Принстонскому институту передовых исследований, нашел квантовый парадокс, который, по его мнению, было невозможно разрешить.

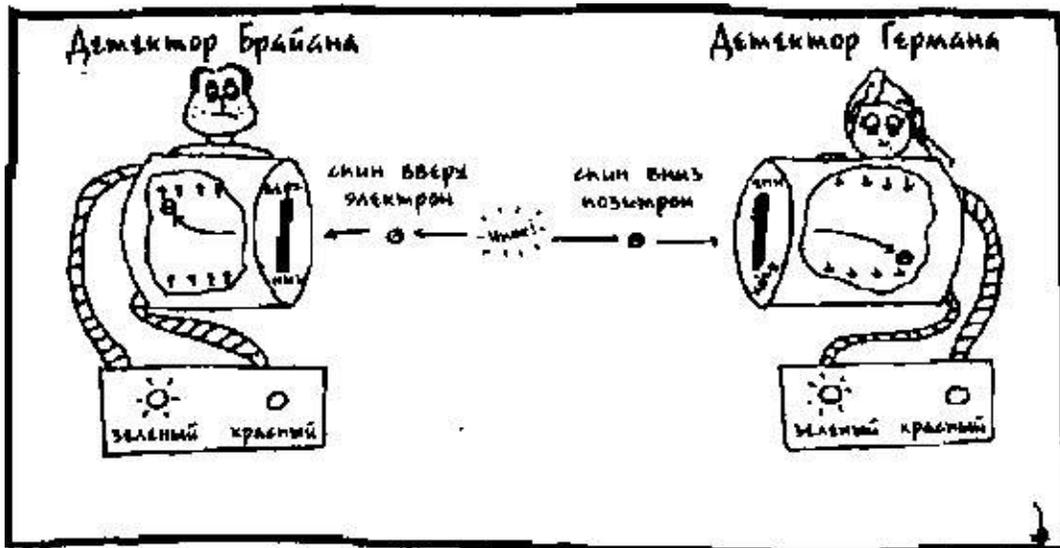
Эйнштейн поставил целью доказать, что Господь и в самом деле не играет со Вселенной в кости.

Это не просто философский спор. Вопрос в том, правда ли, что радиоактивный распад и определение положения частиц случайны, или они лишь *кажутся* случайными. Главное было придумать, как доказать либо одно, либо второе. В свое время мы опишем ЭПР-парадокс (он получил такое название в честь Эйнштейна и его команды), но это получится гораздо проще, если мы приведем конкретные примеры. Брайан, Герман и Дейв за апельсиновым десертом тети Мейвис решили создать «запутывательную машину», причем каждый внес в эту идею свой идиотский вклад.

Эта машина должна измерять свойство, общее для всех фундаментальных частиц: так называемый спин. Частица, обладающая спином, генерирует маленькое магнитное поле. Поскольку магниты взаимодействуют друг с другом, мы можем измерить направление спина электрона, если он пробежит мимо магнита в виде планочки. Бломберги превращают магнит в детектор спина, который они вертят, куда хотят. Если держать магнитную планочку вертикально, можно определить, вверх или

вниз направлен спин. Если держать ее горизонтально, можно измерить, направлен он вправо или влево. Спин очень полезен для наших целей, поскольку мы способны создавать реальные системы, где создаются две частицы и спины взаимно исключают друг друга. Если у одной частицы спин вверх, у другой наверняка спин вниз. Если у одной спин налево, у другой спин направо. Вот что мы имеем в виду, когда говорим о «запутанности квантовых состояний». Это просто ученый способ сказать, что если мы знаем квантовые свойства одной частицы, то в состоянии сказать что-то осмысленное о квантовых свойствах другой.

Это свойство спина нам понадобится в нашей запутывательной машине. В середине у нее есть комната, где то и дело мы создаем пару из электрона и его злобного близнеца — античастицы позитрона^[55], которая устроена так, что их спины всегда противоположны.



Затем электрон по длинной трубе отправляется налево, где Брайан присоединил маленький детектор, а позитрон летит направо, к Герману, где тоже стоит такой же детектор. Детектор состоит из магнита, который используется для измерения спина электрона или позитрона. Чтобы нам с вами не путаться в бесконечных «вверх-вниз» и «вправо-влево», настроим детектор Брайана так, что если у электрона спин вверх — загорается зеленая лампочка. Если спин вниз — загорается красная. Детектор Германа работает в точности наоборот.

Оба детектора настроены на «вверх-вниз», как на рисунке, и исследователи начинают испускать множество пар, состоящих из электрона и позитрона. И в каждом эксперименте, когда Брайан видит зеленый свет

(электрон со спином вверх), Герман тоже видит зеленый свет (позитрон спином вниз). А когда Брайан видит красный свет, Герман тоже видит красный.

На первый взгляд ничего особенного. Можно легко представить себе подобный же случай, в котором мы заменим нашу запутывательную машину автоматом, который делает пары белых и черных шариков. Если Брайан получает белый, он будет знать, не глядя, что у Германа шарик черный, и ему не надо звать дядюшку, чтобы убедиться в этом. Однако копенгагенская интерпретация квантовой механики говорит другое. В квантовом мире за миг до того, как Брайан измерит спин своего электрона, этот спин был направлен и вверх, и вниз, и пока Брайан его не измерил, он «не решил», куда он будет направлен — вверх или вниз. На этом месте Эйнштейн и начал горячо возражать против всей затеи. Согласно его аргументации, возможностей только две.

1. В момент, когда электрон Брайана или позитрон Германа вылетает из центральной камеры, нет абсолютно никакого способа узнать, какой у них спин, и этого не знает даже Вселенная. Однако (и в этом и состоит главный вопрос Эйнштейна) две частицы каким-то образом способны в **точности одновременно** решить, каким спином они хотят обладать. Скажем, Брайан делает оценку за наносекунду до Германа. Тогда за эту наносекунду электрон Брайана должен сообщить позитрону Германа, какой у него должен быть спин. Но беда в том, что электрон и позитрон очень далеко друг от друга, а передать информацию им нужно мгновенно, даже если для этого сигнал должен идти быстрее света.

Это и есть ЭПР-парадокс. Если спин (а на самом деле любое другое измеряемое явление в квантовой механике, в том числе и кот) действительно случаен, значит, сигнал придется послать со скоростью больше скорости света. Даже если глава 1 не оставила в вас никаких следов, вы должны нутром чують, что это невозможно,

2. Эйнштейн предложил другой вариант: электрон (и позитрон) все это время знал, какой спин выбрать. Единственными, кто не был посвящен в эту тайну, были Бломберги, которые проделывали этот опыт. Эйнштейн и его команда говорили, что реальность не может сводиться к числам, которые мы непосредственно измеряем. Это он называл «скрытыми переменными», и если вам это словосочетание смутно знакомо, не удивляйтесь. В главе 2 мы показали, что копенгагенская интерпретация квантовой механики вызывает мучительные вопросы даже в середине XX века, а идея скрытых переменных Эйнштейна составила основу причинной интерпретации квантовой механики Бома. В сущности, Эйнштейн

утверждает, что Вселенная знает ответ — просто физики еще не сообразили, как этот ответ получить.

Здравый смысл подсказывает, что второй вариант более корректен, и Эйнштейн сделал его своим оружием в великом споре. С другой стороны, здравый смысл нас уже неоднократно обманывал. Нам нужно экспериментальное подтверждение. Возражения Эйнштейна против квантовой механики около 30 лет оставались важной, но недоказуемой гипотезой. В некотором смысле это хорошо. Это значит, что для большинства вычислений неважно, что на самом деле правда — «скрытые переменные» Эйнштейна или абсолютная случайность: результаты все равно получаются одни и те же.

Однако, как выясняется, Вселенная, управляемая «скрытыми переменными», будет вести себя совсем не так, как случайная вселенная, и в 1964 году Джон Белл, который тогда работал в Стэнфордском университете, нашел критерий, позволяющие определить, случайна в основе своей Вселенная или нет. Хотя «неравенство Белла» принадлежит к сфере математики, мы можем пояснить суть проверки, построив «машину реальности», точные технические Характеристики которой вы найдете в конце этой главы. Если вы хотите получить суперпопулярное объяснение, то суть вот в чем: если Брайан и Герман ориентируют свои детекторы случайным образом и много-много раз запустят свой генератор электронов и позитронов, то эйнштейновская картина «скрытых переменных» потребует, чтобы они увидели один и тот же цвет лампочек на своих детекторах больше половины раз. А копенгагенская картина квантовой механики, с другой стороны, предсказывает, что это будет ровно половину раз.

Миновало почти двадцать лет с тех пор, как Белл описал метод, позволяющий различить эйнштейновские представления и копенгагенскую интерпретацию, но воплотить его идею было технологически невозможно. Лишь в 1982 году Алан Эспект и его сотрудники построили устройство, которое сильно напоминало нашу «машину реальности», и проверили ЭПР-парадокс. Они обнаружили, что цвета совпадают в точности в половине случаев. Иначе говоря, победила копенгагенская интерпретация. Электроны вели себя не так, как надеялся Эйнштейн, — не так, словно их заранее запрограммировали.

У этого есть несколько странных следствий. Выходит, что если мы измерим спин запутанного электрона, соответствующий позитрон вынужден будет принять противоположный спин быстрее скорости света! Думаете, это чушь? Эйнштейн даже называл это «жутковатым

дистанционным воздействием». Не ворчите. Нам не нужно выплескивать вместе с водой и ребенка (релятивистского). Все, что нам, по сути дела, требуется, — это аккуратно скорректировать правило касательно того, что ничто не может двигаться быстрее света. Поскольку нельзя использовать запутанность квантовых состояний, чтобы посылать сообщения на другой конец Вселенной, нужно внести крошечную поправку: никакой носитель информации не способен двигаться быстрее света.

Получается, Господь и вправду играет со Вселенной в кости. Но для нас главная неопределенность заключается в том, удастся ли нам унести ноги от нашей чудной семейки.

Машина локальной реальности Мермина

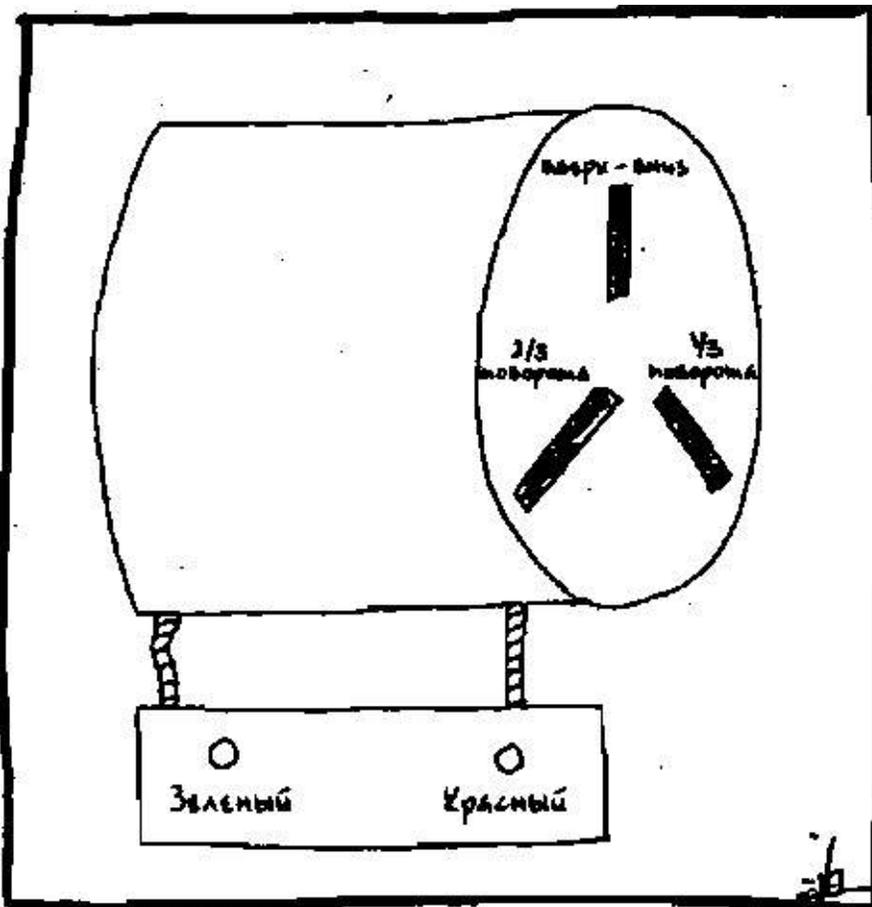
Сама формула, описывающая, что будет, и известная как «неравенство Белла», принадлежит к сфере математики, однако суть ее можно доказать безо всяких математических излишеств, что и послужило основой для гипотетической «машины локальной реальности», которую придумал физик из Корнеллского университета Дэви Мермин. Машина реальности — это просто слегка доработанный генератор электронов Брайана и Германа, который позволяет раз и навсегда выяснить, доказывает ли ЭПР-парадокс несостоятельность квантовой механики. Надо просто немного посчитать на пальцах и задать один-единственный вопрос: происходит ли некое событие чаще, чем в половине раз?

Представим себе на минуту, что Эйнштейн был прав и в каждом электроны заложена миниатюрная программа. Как бы Брайан с Германом ни ориентировали свои детекторы, программа будет говорить им, какую лампочку зажечь, и должна принимать в расчет все случайности. Например, данный конкретный электрон зажжет зеленый свет, если детектор ориентирован вертикально, и красный, если детектор горизонтален. У позитрона такая же программа.

Надо немного переделать генератор, чтобы Брайан и Герман, оценивая спин электрона или позитрона, задавали детектору одно из трех возможных положений.

Детектор у Брайана и Германа занимает одно из трех положений: а) вверх-вниз; б) повернут на $\frac{1}{3}$ по часовой стрелке; в) повернут на $\frac{2}{3}$ по часовой стрелке.

Машина локальной реальности Мермина



Мы выбрали именно такие варианты, поскольку квантовая механика делает весьма конкретное предсказание. Если много раз запускать машину реальности и каждый раз Брайан и Герман будут выбирать положение детектора случайным образом, то квантовая механика говорит, что одинаковые лампочки будут загораться точно в половине случаев.

Мы понимаем, что вы вправе счесть, будто «ровно половину» мы взяли с потолка, и мы приносим свои извинения. По большей части мы рекомендуем вам прибегнуть к интуиции и здравому смыслу, но в данном случае «ровно половина» основана на очень заковыристых квантово-механических *вычислениях*, и мы просим поверить нам на слово.

— Что предсказывают «скрытые переменные» Эйнштейна? Здесь вам не потребуется верить нам на слово. У электрона может быть ровно восемь

программ.

	А Вверх-вниз	Б $\frac{1}{3}$	В $\frac{2}{3}$
1	З	З	З
2	З	З	К
3	З	К	З
4	З	К	К
5	К	З	З
6	К	З	К
7	К	К	З
8	К	К	К

Вспомним, как работают эти программы. Если Эйнштейн прав, тогда неважно, как Брайан с Германом поворачивают свои детекторы: электрону все равно нужно заранее знать, какой цвет загорится. Получается, что генератор вырабатывает всего восемь типов электронов.

Поскольку детекторов у нас всего два, за каждый раз можно измерить только две переменные из каждой программы. Так мы можем определить, какой цвет будет загораться в каждом положении детектора. Например, если Брайан ставит детектор в положение «вверх-вниз» (А) и видит зеленый свет, он не знает, как был запрограммирован электрон: ЗЗЗ, ЗЗК, ЗКЗ или ЗКК. Но Вселенная знает!

Мы получим от машины реальности очень интересный результат, если посмотрим, что происходит, когда вырабатывается электрон или позитрон с конкретной программой. Если Брайан и Герман случайно выбирают направление детектора, насколько часто у них будут загораться одинаковые лампочки?

Есть две очень простые программы: ЗЗЗ и ККК (случаи 1 и 8). Что бы ни происходило, в этих случаях Брайан и Герман получают одни и те же показатели. «Всегда» — это определено чаще, чем «в половине случаев».

Более интересный случай — ЗЗК. Брайан и Герман могут настроить свои детекторы девятью способами: А-А, А-В, А-С, В-А, В-В, В-С, С-А, С-В, С-С. К сожалению, мы должны перечислить все, поскольку это довольно тонкий момент. В пяти из девяти сценариев (А-А, А-В, В-А, В-В, С-С) Брайан и Герман увидят один и тот же цвет. Пять из девяти — это около

56 %, то есть больше, чем половина.

Есть еще шесть возможных программ: ЗКЗ, ЗКК и прочие. Все они точно такие же, как ЗЗК, поскольку два магнита настроены одинаково, а один-по-разному. В этих ситуациях Брайан и Герман опять же будут получать одинаковые результаты в 56 % случаев.

Как бы ни был запрограммирован электрон, согласно модели Эйнштейна, Брайан и Герман будут получать одинаковые результаты больше чем в половине случаев. С другой стороны, если квантовая механика верна, они будут получать одинаковые сигналы ровно в половине случаев.

Для Эйнштейна все кончилось плохо.

Глава 4. СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ



Почему Большой адронный коллайдер не уничтожил Землю?

Если к моменту публикации книги БАК действительно уничтожит Землю, мы принесем свои искренние извинения и будем готовы возместить все затраты на эту книгу.

21 марта 2008 года Уолтер Вагнер и Луис Санчо начали процесс в Федеральном суде США с единственной простой целью — спасти человечество. Истцы утверждали, что в ближайшие несколько месяцев

планируется ввести в действие Большой адронный коллайдер (для краткости — БАК), а он, возможно, начнет производить микроскопические черные дыры, которые, возможно, сольются воедино и в конце концов сожрут Землю изнутри.

Вагнер и Санчо были не одиноки. Нас как физиков то и дело спрашивают, уничтожит ли БАК Землю или даже всю! Вселенную. Такая травля пробудила в нас своего рода паранойю — вдруг мы и правда играем некоторую роль в грядущей гибели человечества? В Интернете полным-полно петиций, призывающих закрыть ЦЕРН (CERN — французское сокращение, означающее «Европейский центр ядерных исследований»), организацию, под эгидой которой создан БАК. Некоторые из них приводят серьезные рациональные обоснования того, почему нужно провести дополнительные исследования и принять меры предосторожности. Однако подавляющее большинство имеющихся интернет-обращений напоминают серии эсэмэсок, написанных разъяренными первоклашками:

В сентябре 2008 года ЦЕРН (Европейский центр ядерных исследований) запустит машину, называемую «Большой адронный коллайдер». Это для каких-то научных целей. Наверно, если это получится, ученые получат ответы на всякие вопросы. НО! Если БАК получится, возможно, мы никогда не узнаем ответы на эти вопросы! (Ну и так далее.)

Даже Нострадамус — и тот призывает к действию, примерно так же связно, и грозно предупреждает нас из прошлого:

IX-044

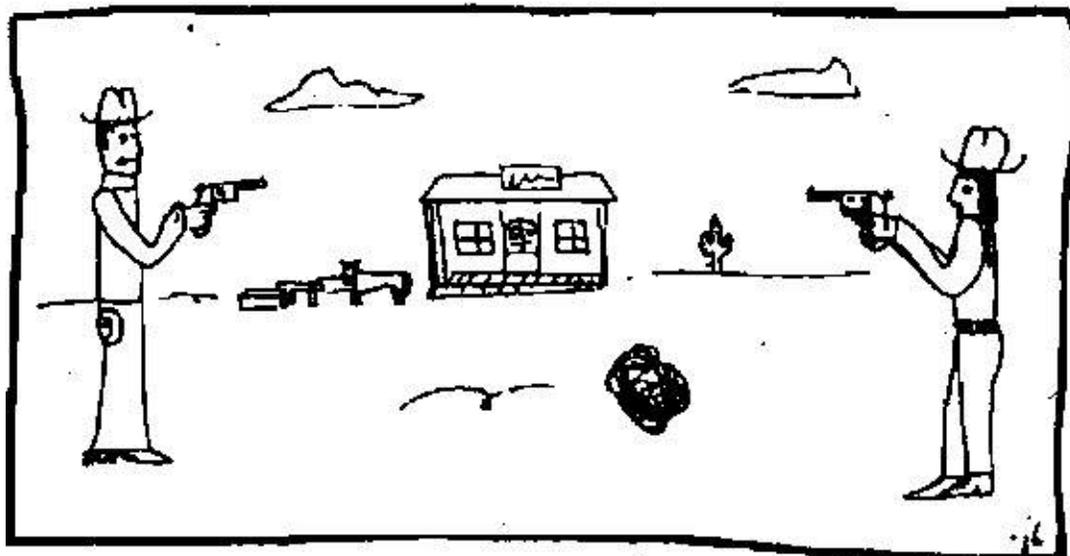
***Migrés, migrés de Geneue trestous,
Saturne d'or en fer se changera:
Le contre Raypoz exterminera tous,
Avant l'aduent le ciel signes fera.***

Все, все покидайте Женеву,
Небо из золотого станет стальным:
Антихрист уничтожит всех,
А перед этим будут видны знаки на небе.

Разумеется, Нострадамус не сумел предсказать, что последняя версия «Халка» окажется такой провальной, а жаль: пришлось идти в кино и смотреть эту гадость. Вообще-то БАК действительно с виду похож на

адскую машину: это гигантское подземное кольцо окружностью в 26 659 м, оно такое огромное, что четырежды пересекает франко-швейцарскую границу. БАК можно считать чудовищных размеров трассой для гонок, в которых частицы разгоняются до 99,999999 % скорости света^[56], а затем врезаются друг в друга.

Как мы видели в главе 1, энергия и масса взаимозаменяемы, так что на этих диких скоростях создается много массивных частиц. Это величайшее достижение в области столкновения частиц, и общественность боится, что в результате этих столкновений будет создано нечто такое, что уничтожит человечество.



ПЕРВЫЕ КОЛЛАЙДЕРЫ

Но ничего такого не случилось.

Во-первых, если кого-то пугают слова «ускоритель частиц», напомним, что это не новые технологии. Если вы когда-нибудь смотрели телевизор старого образца, то видели простенький ускоритель частиц в действии. Старые телевизоры ускоряли электроны в электронно-лучевых трубках, а позиция луча создавала на экране волшебные движущиеся картинки. Механизм БАК немного иной, но любые ускорители частиц, подобно телевидению, способны и пугать, и просветлять^[57].

Так что же происходит? Можно ли считать БАК очередным важным шагом к полному пониманию природы Вселенной или мы, подобно Икару, подлетаем слишком близко к Солнцу? Ждет ли нас возмездие за дерзкую жажду к знаниям?

Успокойтесь, никому ничего не грозит. Откуда мы это знаем?

Подождите немного: прежде чем выяснить, почему БАК не чреват никакими опасностями, надо сначала понять, зачем его вообще построили.

I. Зачем нам вообще нужен ускоритель стоимостью в несколько миллиардов долларов?

Школьная физика казалась мешаниной из произвольных правил: если у тебя рычаг, подставляй числа в эту формулу, если наклонная плоскость — в другую, если ускорение — в третью и так далее. Честно говоря, необходимость зубрить формулы про движение и трение в первую очередь и отвращает от физики^[58].

И очень жаль, потому что физика совсем не так чудовищна, как думают многие бывшие школьники. Если бы физика сплошь состояла из архисложных правил и загадочных исключений, ее бы называли не физикой, а бухгалтерским учетом. Цель физики — свести количество законов к минимуму. Однако это не значит, что если бы мы знали эти простые законы, *физические расчеты* тоже стали бы простыми. Представьте себе, что у вас есть друг^[59], который никогда в жизни не видел шахматной доски.

Объяснить правила игры в шахматы вы сумеете в считанные минуты. И ваш друг обнаружит, что шахматы — весьма логичная игра, ему известны все правила, все происходит исключительно по этим правилам, и тем не менее играет он из рук вон плохо.

Эту главу мы начали на очень торжественной ноте — размышляли о возможности уничтожения Вселенной. Теперь настроимся на более легкомысленный лад: представим себе, что физика — это игра (или набор игр) вроде тенниса или бадминтона. Эти игры на вид очень похожи друг на друга. В обоих случаях мы имеем двух или больше игроков, которые перебрасывают мячик (ну, или воланчик) ракетками через сетку, а главная цель игры — заставить противника или команду противников промахнуться.

Нам нужно выяснить, каковы правила игры, понять, какие игроки в нее играют, а какие — нет, и, вероятно, добавить два слова о мячике. В идеале мы когда-нибудь докажем, что все эти на вид разные игры на самом деле — одна суперпотрясающая метаигра вроде десятиборья. Физики уже отлично поработали над описанием физических законов, разбив их на две части:

- 1) игроки — существует набор фундаментальных частиц;
- 2) игры — существуют четыре силы, каждая из которых подчиняется

примерно похожим набором правил. Не все частицы играют во все игры.

Набор частиц и набор правил вместе называются «стандартная модель». Стандартная модель служит не только для описания того, из чего создана Вселенная, но и для бесконечных плоских каламбуров.

Начнем с основ: материя состоит из атомов^[60].



**СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ — ВОТ ЧТО ОЧЕНЬ
ИНТЕРЕСУЕТ ФИЗИКОВ**

Эту идею выдвинул в 1789 году химик Антуан Лавуазье, который заявил, что делить материю до бесконечно малых величин невозможно, в конце концов получаются мельчайшие неделимые частицы^[61].

Эти «неделимые частицы» стали называть атомами, но лишь в

последние сто лет мы наконец поняли, какие атомы на самом деле маленькие и компактные.

В 1909 году Эрнест Резерфорд проделал следующий опыт: он направил луч так называемых альфа-частиц^[62] на кусок тоненькой золотой фольги.

Большинство альфа-частиц прошли сквозь фольгу, как будто ее и не было. Однако некоторые альфа-частицы отразились от фольги и отскочили обратно. Как говорил сам Резерфорд: «Это было невероятно — как будто стреляешь пятнадцатидюймовым снарядом в папиросную бумагу, а он отскакивает и попадает в тебя!» От этого, разумеется, и отталкивались художники, придумавшие первую развеселую обложку для учебника под девизом «Физика и жизнь».

Резерфорд обнаружил крошечную крупинку в центре атома. Этот комочек мы и называем ядром, и когда мы говорим, что он крошечный, то отвечаем за свои слова. Учítывая, с какими исполинскими масштабами мы столкнемся, когда будем говорить о космологии, и какими субмикроскопическими величинами оперируем в этой главе, возможно, будет проще прибегнуть к «экспоненциальному представлению»: ядро составляет примерно 10^{-15} размера атома. То есть 0,000000000000001. Это примерно то же самое, что сравнивать размер вашего дома с размером земного шара. Поскольку в ядре заключено 99,95 % массы атома, мы имеем полное право сказать, что в атоме ужасно много пустоты.

Но каким бы маленьким ни было ядро, его можно делить дальше. Если пробиться внутрь ядра, то там обнаружатся еще более мелкие частицы — так называемые адроны, хотя вы, вероятно, знаете их по имени: это протоны и нейтроны. Именно в честь протонов и назван женеvский Большой адронный коллайдер — так как именно эти частицы и должны в нем сталкиваться. Эти два адрона похожи как две капли воды за двумя важными исключениями — нейтрон на 0,01 % массивнее, а протон несет положительный электрический заряд +1, в отличие от нейтрона, который потому так и называется, что электрически нейтрален. Скоро мы вплотную займемся следствиями того, что протон обладает зарядом, а пока достаточно сказать, что если вы когда-нибудь надевали ясным зимним днем шерстяной свитер, то, наверное, знаете, что такое заряд.

Мы уже списали на адроны 99,95 % массы атома, но пока ничего не сказали о крошечном остатке — о том, что, по всей видимости, составляет подавляющее большинство объема атома. Эти крошечные частички называются электронами, и о них мы начали говорить в главе 2. На этот раз

мы поговорим об электронах как о фундаментальных частицах. Как бы вы их ни терли, как бы ни раздирали, ни на что более мелкое они не распадаются.

Чтобы понять, насколько они мелкие, скажем, что встречаются они так же часто, как протоны и нейтроны, однако в человеке весом 68 килограммов наберется только 14 граммов электронов. Это примерно столько, сколько весит содержимое ваших глаз. Электроны, как и протоны, обладают электрическим зарядом, но, в отличие от протонов, их заряд отрицательный (-1). В нормальных атомах электронов и протонов поровну, а значит, эти атомы электрически нейтральны.

Огромное, подавляющее большинство объема атомов состоит из пустого пространства. Конечно, в атоме есть ядро и электроны. Однако, как мы видели в главе 2, электрон — это не просто шарикоподшипник или мякоть персика (а ядро — косточка). Это большая вероятностная волна. Неужели нельзя придумать лучи или устройства, которые заставят электронные облака сжаться? Легче предметы от этого не станут, зато упаковать чемодан перед длительным путешествием станет проще простого.

Однако при этом мы сталкиваемся с проблемой неопределенности. Как мы видели в главе 2, когда пытаешься поймать электрон в небольшое пространство, чтобы создать суперминиатюрные атомы, то, согласно принципу неопределенности Гейзенберга, энергия этих электронов сразу же сильно повышается. Энергия может стать настолько высокой, что электроны вырвутся из электромагнитного притяжения ядра.

В конечном итоге размер атома определяется достаточно четкой комбинацией физических констант: зарядом электрона, постоянной Планка (числом, которое говорит нам, как сильна квантовая механика), массой электрона и скоростью света. Если бы мы смогли переделать фундаментальные константы физики, то смогли бы и делать миниатюрные атомы. А пока проще покупать себе чемоданы попросторнее.

Нейтральность — это удел не только Швейцарии и атомов. Сколько бы материй ни создавалось во Вселенной, протонов и электронов в ней всегда поровну, поэтому Вселенная: в целом электрически нейтральна — и всегда была такой. Нет ни одного эксперимента, в котором не сохранился бы заряд, — неважно, где его проделывают, на Земле или в космосе. Это приводит к первому основному закону для всех фундаментальных сил:

Электрический заряд не создается и не уничтожается.

Спросите Знайку!

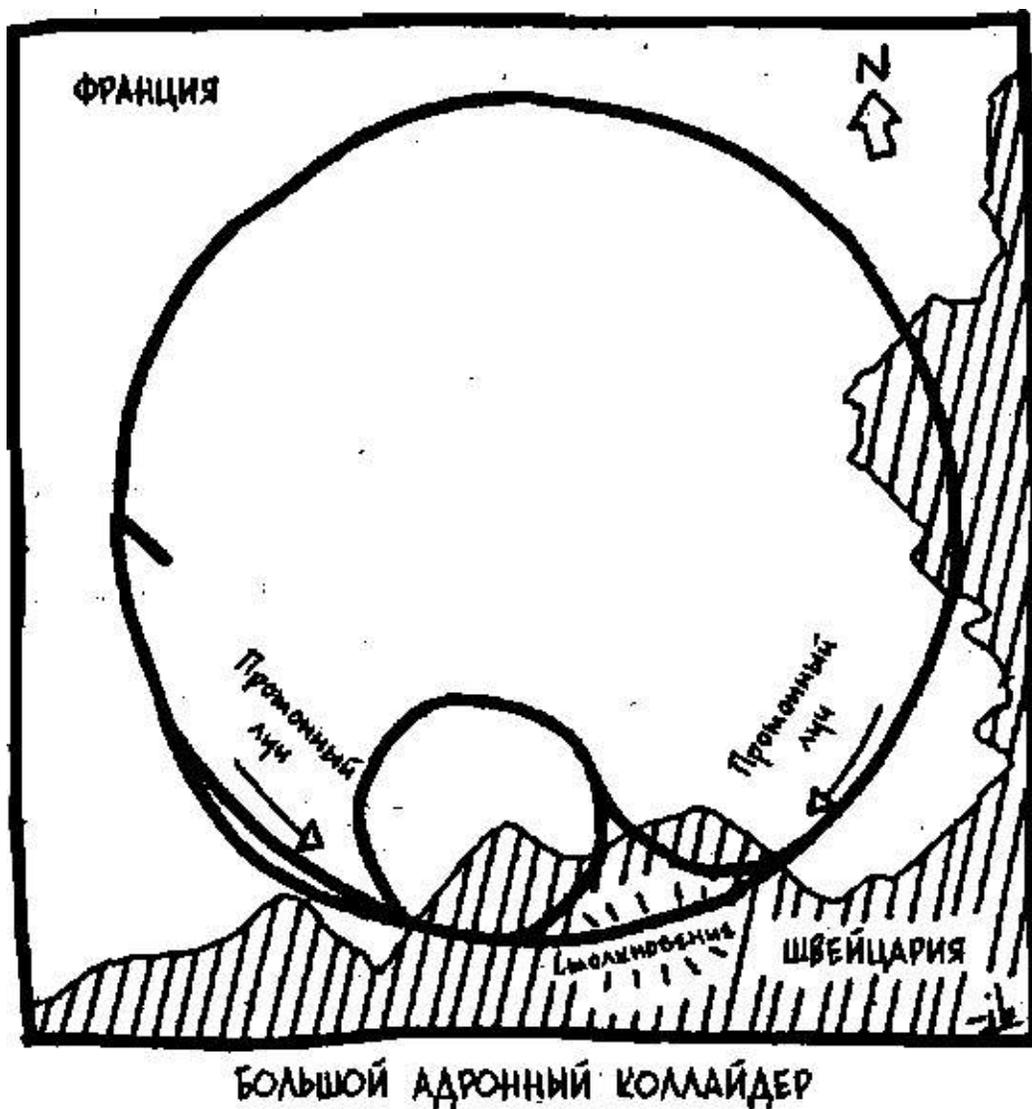
Можно ли придумать уменьшительные лучи и сделать миниатюрные атомы?

Как можно ожидать, действие в нашей универсальной игре не сводится к тому, чтобы перетаскивать протоны и электроны с места на место, все время сохраняя заряд. Посмотрим, к примеру, на нейтрон. Нейтрон — это что-то вроде пациента в коридоре у кабинета врача: прождав минут десять, нейтрон взрывается. Разница в том, что вместо того, чтобы накричать на регистраторшу, нейтрон буквально разлетается на разные другие частицы.

Самая крупная из этих частиц — протон. Возможно, вас это удивит, поскольку мы говорили вам, что электрический заряд сохраняется, но задумайтесь вот над чем: в этом нет ничего страшного, если найдется другая частица с отрицательным зарядом, чтобы уравновесить положительный заряд протона. Что-то вроде электрона. Точнее, сам электрон.

В результате нейтронного распада образуется кое-что еще, но мы хотим сделать два предупреждения: 1) как бы ни казалось на первый взгляд, нейтрон **не состоит** из протона, электрона и кое-чего еще, — он в них превращается; 2) кстати, протоны и нейтроны кое из чего состоят, просто мы еще не сказали из чего.

Скоро мы поговорим и о других фундаментальных частицах, но боимся, как бы вы еще раньше не заблудились в «зоопарке частиц». Мы не собираемся заставлять вас зубрить большой каталог фундаментальных частиц по той простой причине, что их (по меньшей мере) 18, не считая диких разновидностей одной и той же частицы, которые на самом деле с фундаментальной точки зрения не отличаются друг от друга. Из предупредительности к вам, читатель, мы поместили в конце главы удобное приложение, где перечислен весь «зоопарк» с указанием всего, что вам имеет смысл знать о каждой частице. Не за что, не за что, не стоит благодарности.



Теперь вы знаете о том, из чего состоит материя, примерно столько же, сколько знал каждый лет сто назад, но мы собираемся копнуть чуть глубже, чтобы разобраться, что происходит на самых глубоких уровнях. Вот почему мы собираемся выбить из этих частиц все, что можно, — а для этого нам нужен БАК. Мы надеемся, что протоны — это такие свиньи-копилки или иностранные шпионы: если стукнуть их посильнее, получится кое-что интересненькое^[63].

Кольцо коллайдера — это гоночная трасса для протонов, и два протонных луча будут лететь навстречу друг другу со скоростью, близкой к скорости света. Как мы видели в главе 1, чтобы заставить частицы двигаться настолько быстро, нужна прорва энергии. Опустим вычисления — скажем только, что энергии, необходимой, чтобы разогнать два протона

до такой скорости, чтобы они распались, хватит, и на то, чтобы по закону $E = mc^2$ создать 14 тысяч протонов с нуля. Когда два протона сталкиваются, происходит много разных событий, но все они подчиняются второму из наших основных законов:

энергия не создается и не уничтожается.

Зато ее можно конвертировать из движения в массу, и именно это мы и собираемся делать в коллайдерах частиц.

II. Как открывают субатомные частицы?

Если столкнуть друг с другом энергичные протоны, получатся частицы, куда более массивные, чем исходные. Но если частицы, которые создаются в ускорителях, так массивны, зачем вообще нужны ускорители? Наверное, великанские частицы легко заметить и так?

И да и нет. Конечно, если бы в пространстве там и сям плавали массивные частицы, их можно было бы собирать и исследовать безо всякого труда. Беда в том, что все во Вселенной стремится сбросить энергию до минимально возможной. Положите на стол мяч для боулинга — в этой позиции у него будет довольно много энергии — и легонечко подтолкните его. Он упадет со стола к вам на ногу — где энергии у него будет гораздо меньше. Поскольку энергия и масса эквивалентны, это означает, что массивная частица распадется, если это вообще возможно, на менее массивную и еще что-нибудь — и очень скоро, в чем мы убедились, когда говорили о радиоактивности в главе 3.

Самые массивные частицы живут всего миллионную долю секунды или даже меньше, а потом распадаются на более легкие, и так будет продолжаться предположительно 13,7 миллиарда лет — с начала времен и до тех пор, когда все массивные частицы раз и навсегда распадутся. Должно быть, вы предполагаете, что тогда все уляжется и останутся только наши старые знакомые протоны и нейтроны, но вы же уже поняли, что бывает, когда вы что-то предполагаете, правда?

По Вселенной так и шныряют высокоэнергичные заряженные частицы. Протоны на высоких скоростях испускает и Солнце, и другие звезды в разных частях галактики, и сверхновые, — все места, где есть высокоэнергичные источники. Эти заряженные частицы, которые называются космическими лучами, летают туда-сюда, пока на что-нибудь не наткнутся. Если бы не магнитное поле, окружающее нашу планету, этим «чем-нибудь» могли бы быть ваши клетки — и тогда космические лучи убили бы вас или стерилизовали. Вот почему нужно слушаться мамочку и не проводить в открытом космосе слишком много времени. Достаточно часто космические лучи попадают в атмосферу и сталкиваются с кислородом или азотом, превращаясь в процессе в более массивные частицы. Стратосфера и все, что выше, кишат, словно нечищенные зубы, всякой дрянью — мюонами, каонами и пионами.

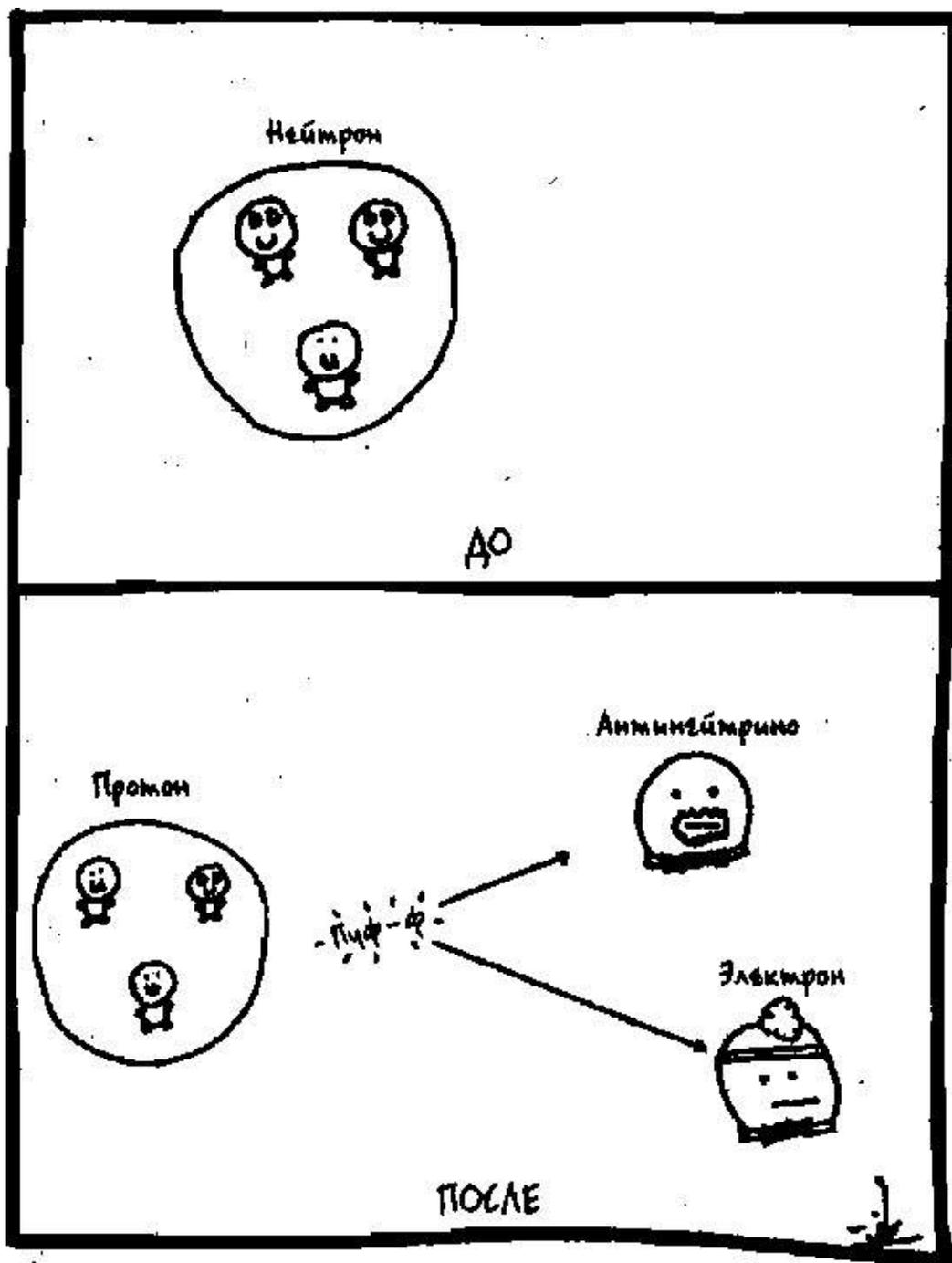
Эти частицы рождаются и умирают в мгновение ока^[64], поэтому

создать их и измерить можно только, и исключительно внутри ускорителя.

Если мы столкнем частицы друг с другом при достаточно высокой энергии, а затем сошлемся на закон $E = mc^2$... вуаля! Массивные частицы у нас в кармане. Если мы будем получать их в ускорителях, то нам будет проще предсказывать, когда они появляются, а значит, легче и изучать их.

Однако пионы и мюоны — не единственные массивные частицы, которые страдают от дегенеративных тенденций. Как мы уже упоминали, распаду подвержен даже нейтрон (эта черта отличает его от протона)^[65].

Если вы дадите нейтрону около 10 минут, он распадется на протон, электрон (а значит, сохранится общий заряд) и еще одну частицу, о которой мы вам раньше не говорили, — она называется антинейтрино.



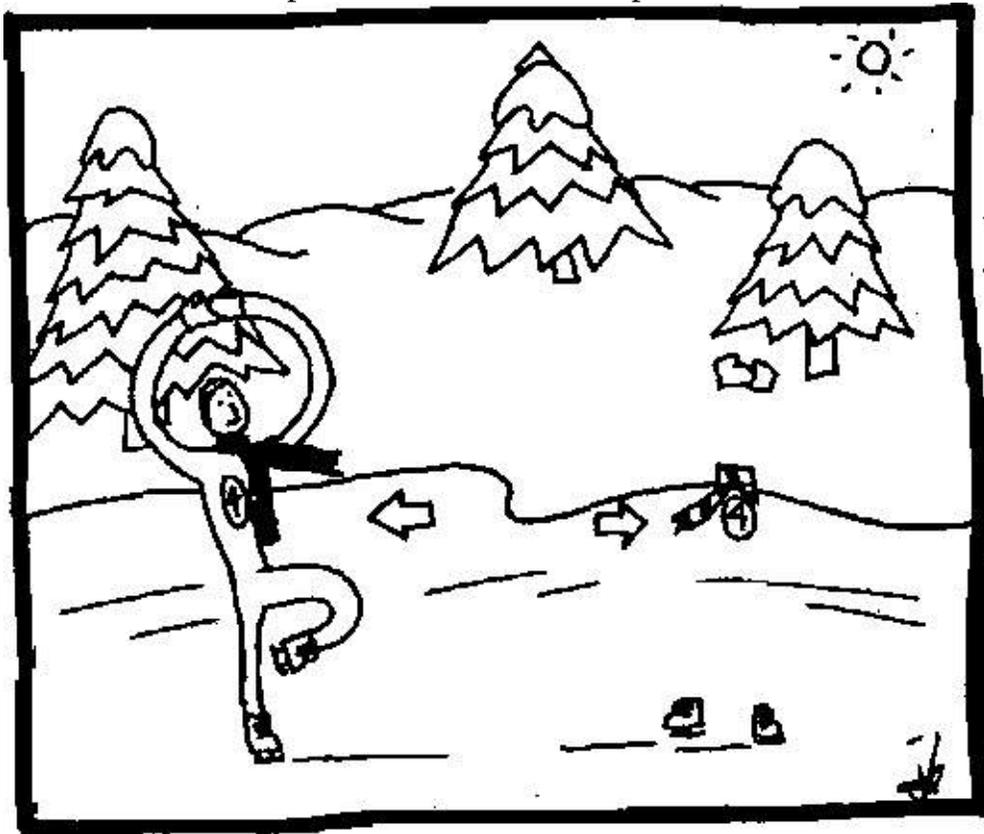
Только не пугайтесь — мы сейчас вам все объясним, и про «анти», и про «нейтрино». Начнем с «нейтрино». Это название выбрано потому, что нейтрино электрически нейтральны, а прямо их не увидеть. Откуда же мы узнали «что они есть, если они, в сущности, невидимы? Хороший вопрос.

В 1930 году Вольфганг Паули предложил новаторскую интерпретацию экспериментов с распадом нейтрона. Было замечено, что когда нейтрон

распадается, протон и электрон часто отлетают в одном и том же направлении. Интерпретацию распада нейтрона по Паули, как и многие явления в жизни, легче представить себе, если привлечь к делу супергероев.

Представьте себе, как Сью Шторм, она же Невидимая Леди, и ее муж мистер Фантастик^[66] катаются на коньках по замерзшему пруду.

Они отталкиваются друг от друга, и мистер Фантастик стремительно отъезжает в одну сторону, а Сью, как всегда невидимая, — в другую. С берега за ними наблюдает Существо, которое видит только мистера Фантастика, который мчится задом наперед, — с его точки зрения, безо всякой причины. Но Существо довольно быстро понимает, что к чему. Он уверен, что на льду есть еще кто-то — кто-то невидимый — и что этот второй сейчас мчится в противоположном направлении.



Паули, сыгравший роль Существа, заключил, что должна существовать невидимая частица-призрак, электрически нейтральная: антинейтрино.

Нейтрино (а следовательно, и антинейтрино) очень легкие, и довольно долго считалось, что они полностью лишены массы. Однако в 1998 году на японском нейтринном детекторе «Супер-Камиоканде» был проведен эксперимент, показавший, что у нейтрино на самом деле есть некоторая

масса. Это выдающееся достижение, но следует также отметить, что пока что ученые еще не вычислили массу нейтрино. К этому вопросу мы еще вернемся в главе 9, а пока вполне уверенно сказать, что масса нейтрино во много раз меньше массы электрона.

Что же касается «анти», постарайтесь не пугаться этого слова. «Анти» означает всего-навсего «наоборот» — античастица имеет квантовые числа, прямо противоположные частице-партнеру. Антиматерия — вещество со скверной репутацией: всем известно, что если комочек антиматерии соприкоснется с обычной материей, они взорвутся и превратят всю свою массу в энергию. Сами по себе античастицы безобидны. Если бы мы вдруг взяли сразу все частицы во Вселенной и заменили их античастицами (в том числе и те, из которых состоите вы), вы бы не заметили разницы.

III. Зачем разным частицам так много разных правил?

Сейчас, когда мы установили несколько основных законов, общих для всех фундаментальных сил, настала пора поговорить об играх, начиная с самых простых и очевидных.

Гравитация

Просим заметить, что люди, само собой, звали о существовании гравитации задолго до того, как сэр Исаак Ньютон «открыл» ее в 1687 году. Например, к тому времени уже давным-давно умели строить катапульты. И прекрасно понимали, что если пустить стрелу вверх, то она впоследствии пробьет доспехи — хорошо бы на другой стороне поля. Без гравитации обслуживающему персоналу гильотины пришлось бы сидеть и дожидаться, когда же ее лезвие случайным образом упадет вниз.

Но Ньютон при помощи простого набора уравнений сумел с большой точностью предсказать падение яблока, орбиту Луны, пути планет. Закон, который он открыл, был прост — и описывал колоссальное множество явлений. Этот закон показывал, что все предметы во Вселенной притягивают друг друга, и чем дальше они друг от друга находятся, тем слабее это притяжение, или гравитация.

Ньютон, однако, разобрался в этой истории не до конца. Лишь в 1916 году Альберт Эйнштейн, разработав общую теорию относительности, объяснил нам, в чем сущность силы тяжести. Однако нам станет интересно, где ошибся Ньютон, только когда мы начнем говорить о машине времени (глава 5), Вселенной в целом (глава 6) и теории Большого взрыва (глава 7). Пока что будем считать, что он был полностью прав.

Мы уже говорили, что каждая из этих сил очень похожа на игру с мячиком и ракетками. Если бы нам предложили выбрать конкретный вид спорта, мы бы сказали, что гравитация похожа на бадминтон. В нее играют на большом поле (в масштабах всей Вселенной), а удары делают совсем слабенькие. Легко представить себе, как в вас попадают воланчиком, — и согласитесь, что по сравнению с ударами разными другими спортивными

штуковинами. Такая травма надолго не запоминается.

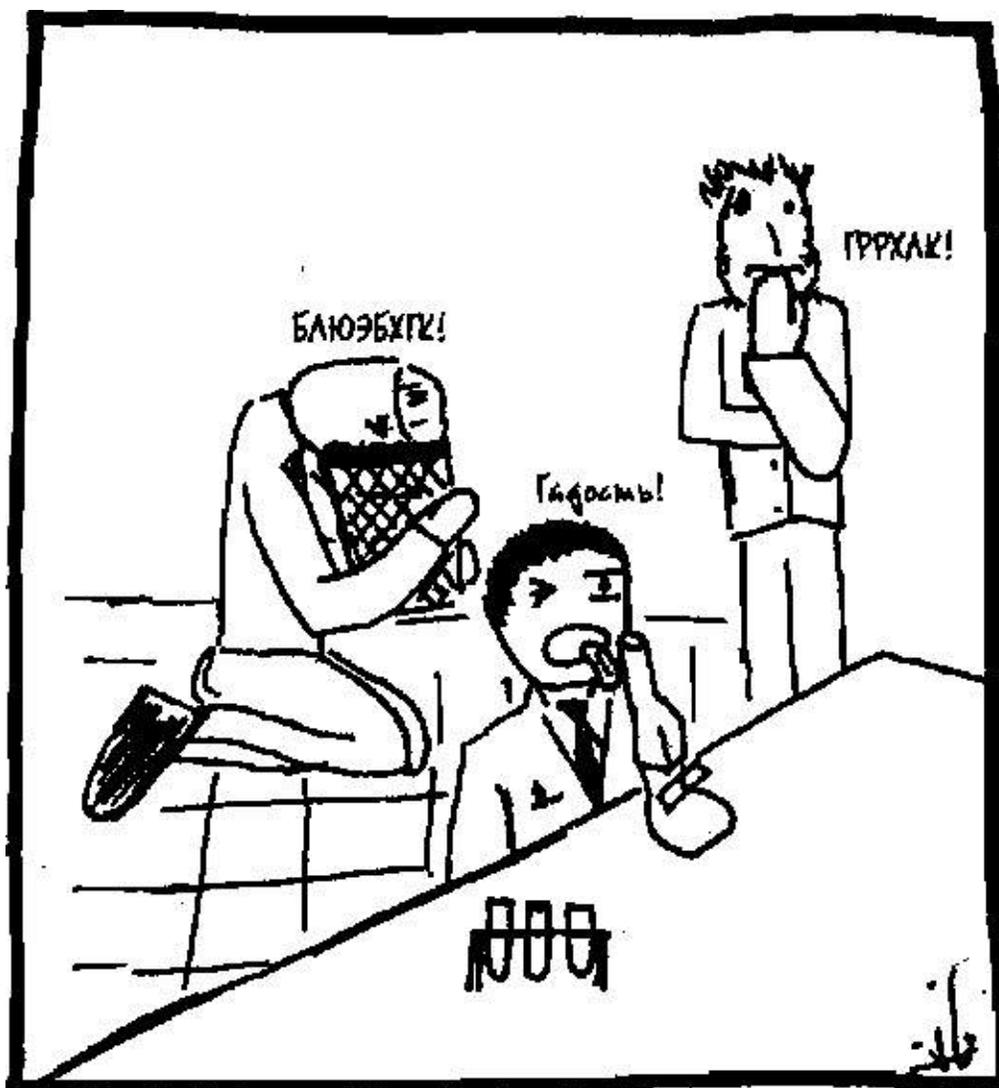
Эта игра отлично подходит для начала спортивной карьеры, поскольку в нее могут играть не просто игроки любого возраста, а вообще кто угодно. Все частицы, и массивные, и наоборот, создают гравитационные поля и притягиваются друг к другу.

Электромагнетизм

В отличие от гравитации, которая всегда привлекает и притягивает, электромагнетизм может и притягивать, и отталкивать. Вы уже знаете, что частицы несут один из трех видов электрического заряда: положительный, отрицательный или нейтральный. Если два электрона оказываются бок о бок, они всегда отталкивают друг друга. Пара, в которой одна частица заряжена положительно, а другая — отрицательно, например протон и электрон, всегда притягивается друг к другу. Если обе частицы нейтральны, они ничего не делают.

Два электрона притягивают друг друга силой гравитации, но при этом отталкивают друг друга силой электромагнитного взаимодействия. В нас силен дух нездорового соперничества, примерно как в очереди, поэтому мы сразу зададим вопрос, который наверняка так и вертится у всех на языке: какая сила сильнее — сила тяжести или электромагнитная?

Побеждает электромагнитная — и не по пенальти, а всухую. Электромагнитная сила отталкивания между двумя электронами более чем в 10^{40} раз сильнее, чем гравитационное притяжение, — вот почему мы вправе позволить себе пренебречь гравитацией, когда говорим о размерах порядка атома и меньше.



КАКИЕ ВСЕ-ТАКИ ЭЛЕКТРОНЫ ОТТАЛКИВАЮЩИЕ!

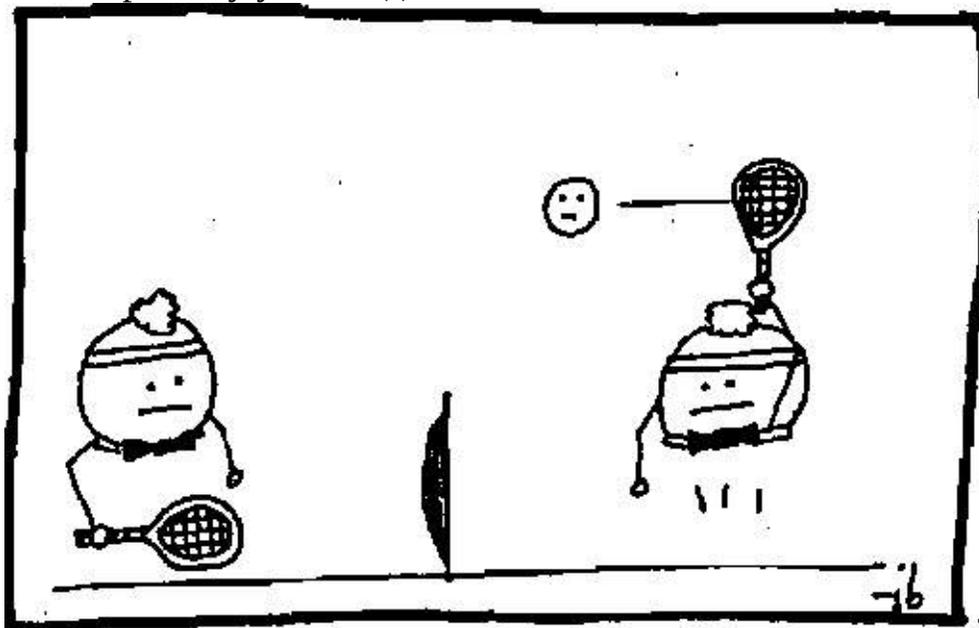
Наверное, вы заметили, что мы говорим об «электромагнитной» силе, но пока что затронули лишь ее «электрическую» часть. С точки зрения здравого смысла электричество и магнетизм — совсем разные вещи, но на фундаментальном уровне разница лишь в подходе. Неподвижные заряды создают электрическое поле, а подвижные — магнитное поле: вот как работает электромагнит, вот как мы понимали спины у заряженных частиц в главе 3. Подобным же образом изменение магнитного поля может создавать электрические поля — что, в свою очередь, создает электрический ток.

Поразительно, но факт: именно электромагнетизм объясняет практически все физические явления в повседневной жизни. Именно электрическое отталкивание не позволяет вашему сидищу продавить

кресло. Именно электрическое притяжение скрепляет молекулы и служит основой для всех химических реакций. И — да, конечно, именно статическое электричество заставляет воздушный шарик прилипать к стенке.

А как же магнетизм? Если не считать магнитных нашлепок на холодильнике, в повседневной жизни мы с ним вроде бы и не сталкиваемся. Зато он играет крайне важную роль в ускорителях частиц. Когда заряженная частица (например, протон) находится в магнитном поле, она движется по круглой орбите. Чем сильнее магнитное поле, тем быстрее движение по орбите. Если поставить в кольцо БАК набор магнитов, то можно будет ловить протонный луч на скорости, близкой к скорости света.

Электромагнетизм — это как теннис. Эта игра гораздо динамичнее многих других, а маленькие пушистенькие желто-зеленые мячики (фотоны) ударяют с такой силой, что только держись. Нейтральные частицы в эту игру не берут, потому что фотоны их «не видят» и потому что они, как всегда, забыли ракетку у мамы дома.



Играть в электромагнетизм могут любые *заряженные* частицы.

Сильное взаимодействие

Мы были вынуждены ознакомить вас с электромагнетизмом, поскольку существуют наблюдаемые феномены наподобие существования молекул и атомов, которые гравитацией не объяснишь. Однако гравитация и электромагнетизм, даже в сочетании, не в силах объяснить всего.

Рассмотрим гелий. Он состоит из двух нейтронов и двух протонов. Что касается электромагнетизма, нейтроны в этой игре не участвуют, а вот протоны крайне, крайне, крайне не любят общества друг друга. Только представьте себе — в ядре каждого атома гелия электрическая сила отталкивания между протонами составляет около 22,5 килограмма! Почему же гелий не разрывается в клочки под воздействием своего же электромагнитного отталкивания?

Значит, должна быть еще одна сила, которая действует и на протоны, и на нейтроны и заставляет их держаться вместе. Эта сила называется сильным, взаимодействием и действует лишь на очень-очень маленьких масштабах — около 10^{-15} метра. Чтобы вам не казалось, что мы жонглируем цифрами, и вы поняли, что это за масштаб, отметим, что размер атомного ядра по сравнению с вашим ростом — это все равно что ваш рост по сравнению с расстоянием до альфы Центавра.

Однако кроличья нора на поверку оказывается еще глубже. В 1960-х годах в ходе эксперимента по глубоко неупругому рассеянию в Стэнфордском линейном ускорителе ученые стреляли в атомы высокоэнергичными электронами. Получившийся рикошет показал, что внутри протонов и нейтронов есть что-то еще — протоны и нейтроны нельзя считать фундаментальными частицами, они состоят из чего-то еще более мелкого. Эти мелкие частички получили название кварков.

Кварки, как и электроны и нейтрино, — последние игроки в нашей метафизической игре. Существует шесть разновидностей кварков (их славные мордашки вы увидите в приложении к этой главе), а пока что нас интересуют только две: **u**-кварк (с электрическим зарядом в $+2/3$) и **d**-кварк (с электрическим зарядом в $-1/3$). В протонах содержится два **u**-кварка и **d**-кварк^[67], а в нейтронах — два **d**-кварка и **u**-кварк^[68].

Скрепляет их сильное взаимодействие. На самом деле сильное взаимодействие настолько сильно, что вне протонов и нейтронов кварки не встречаются.

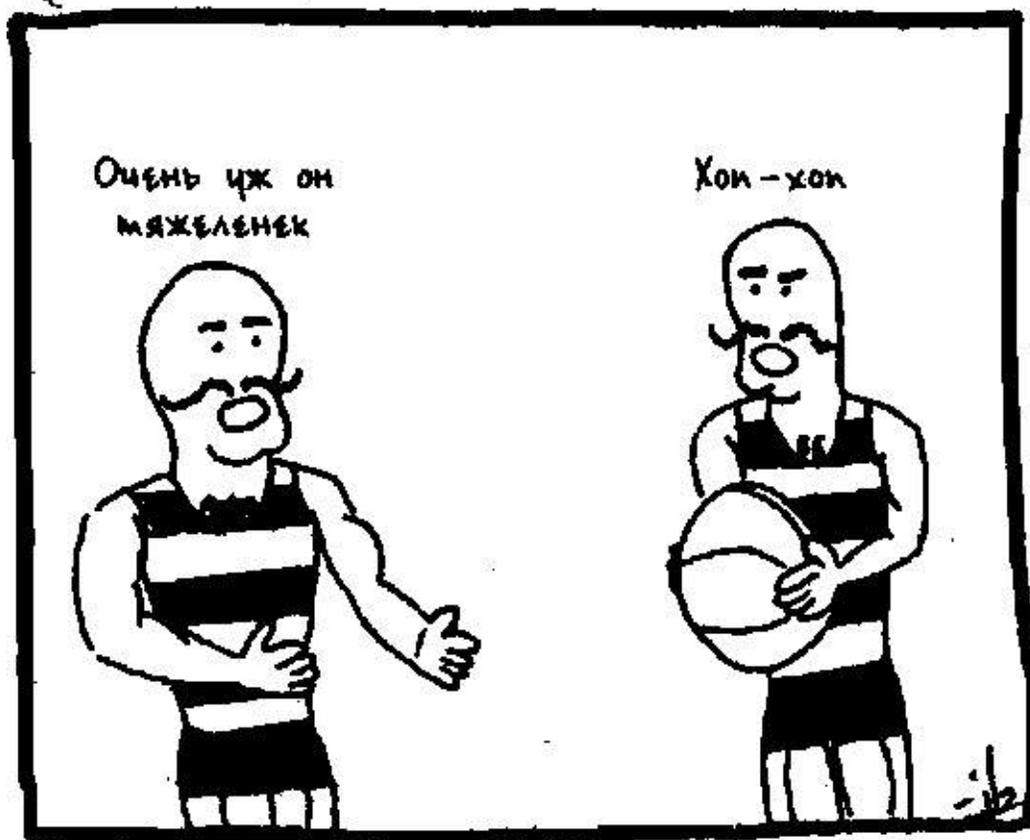
Сильное взаимодействие очень похоже на пинг-понг. Это напряженный поединок в небольшом замкнутом пространстве. В игры с сильным взаимодействием играют только кварки (и протоны с нейтронами, которые состоят из кварков).

Слабое взаимодействие

Когда мы знакомили вас с сильным взаимодействием, то заявили, что нам приходится это делать, потому что существуют загадочные явления, которые невозможно объяснить при помощи двух других сил (гравитации и электромагнетизма). Об одном таком мы уже говорили — это распад нейтрона. Мы сказали, что нейтрон, предоставленный сам себе, распадается на протон, электрон — в антинейтрино. Попробуйте-ка объяснить это при помощи одной из сил, о которой мы уже говорили!

Придется нам изобрести (ладно, хорошо, гипотетически выдвинуть) еще одну силу. Задействовав все имеющиеся в нашем распоряжении творческие способности, мы титаническим усилием выдумываем слабое взаимодействие. Слабое взаимодействие характерно в основном для нейтрино, поскольку, раз они нейтральны, они уж точно не умеют играть в электромагнетизм, а в сильное взаимодействие играют только кварки. Как выяснилось, нейтрино и электроны очень похожи, за исключением небольших различий в заряде, и слабое взаимодействие, среди прочего, позволяет нейтрино превращаться в электроны и наоборот. Каждую секунду сквозь вас проходят триллионы нейтрино. Солнце производит их квадрильонами, и все же гигантские детекторы засекают лишь несколько нейтрино в день. Редкость — верный признак того, что слабое взаимодействие не зря получило такое название. А поскольку нейтрино взаимодействуют только посредством слабого взаимодействия, нам и не удастся наблюдать их часто.

Слабое взаимодействие очень похоже на бросание тяжелого гимнастического мяча. Летит он очень недалеко, бьет несильно и за типичное время успевает неимоверно надоесть. Вообще-то нам уже намекнули, почему это так скучно. Гимнастический мяч очень тяжелый, и даже атлеты-силачи легендарных времен не могли бросить его достаточно далеко.



**СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ —
КАК БРОСАНИЕ ГИМНАСТИЧЕСКОГО МЯЧА**

В слабое взаимодействие играют кварки, нейтрино и электроны. Поскольку, как мы уже сказали, их очень много и все лезут поучаствовать, игра идет очень медленно, и ничего особенно интересного не происходит.

IV. Откуда же берутся эти силы?

Наш разговор мы начали с того, что фундаментальные силы похожи на игры, однако в нашей игре не хватает одного компонента, без которого ничего не получится: это мяч. Задумайтесь об этом. Без мяча теннис — не более чем конвульсивное размахивание ракеткой. То же самое можно сказать и о физике частиц. По состоянию наших знаний на сегодня, если положить два электрона на стол, они так и будут лежать. Взаимодействуют они только через электромагнитное (или слабое, или гравитационное) поле. Так что без поля они друг друга не увидят.

— Откуда же берется поле? Две частицы должны как-то известить друг друга о своем присутствии. Это можно сделать, «послав» от одной к другой третью частицу. Этот посланец — или *переносчик взаимодействия* — и есть частица, которая на самом деле несет в себе силу. Два электрона посылают туда-сюда вековую частицу с сообщением: «Вот он я, вали отсюда!»^[69]

Частица-переносчик в электромагнетизме называется фотоном, и мы уже уделили беседе о нем довольно много времени в главе 2. Мы уже знаем, что фотоны лишены массы и двигаются со скоростью света. Вследствие наводняющей Вселенную энергии вакуума все мы по уши в фотонах, которые то появляются, то исчезают.

Как мы видели, в зависимости от обстоятельств свет можно считать частицей или волной. В более общем смысле волна — это такое поле, что-то такое, что наблюдается везде во времени и пространстве. Если вы возьмете антенну и обойдете с ней весь дом, то везде засечете радиосигналы: где-то слабее, где-то сильнее. Это и есть электромагнитное поле. Фотон — это всего лишь кусочек электромагнитного поля, который летит через пространство со скоростью света. То же самое можно сказать обо всех фундаментальных силах. Существует сильное поле, слабое поле, гравитационное поле, и у каждого есть своя соответствующая частица.

Переносчики сильного ядерного взаимодействия называются глюонами. Глюоны, как и фотоны, лишены массы и двигаются со скоростью света, однако, в отличие от фотонов, подвержены тревожным состояниям, связанным с сепарацией. Фотон — носитель электромагнитной силы, но сам по себе он электрически нейтрален. То есть сам он и не чувствует электромагнитной силы.

Частицы, которые испытывают на себе сильное взаимодействие,

обладают зарядом иного рода — «цветом». «Сильные» аналоги отрицательного и положительного зарядов в мире электромагнетизма — это красный, синий и зеленый заряды, которые определяют взаимодействия, возникающие между кварками в сильном поле. Если вы собрались бежать за цветными карандашами, чтобы рисовать Сильные взаимодействия, повремените. Это просто очередные придурковатые жаргонные названия, которые физики придумали, чтобы сбить с толку непосвященных.

Однако между электромагнитным режимом и сильным режимом существует важное различие. Как и при электромагнетизме, «игроки» (кварки) обладают зарядом, однако, в отличие от электромагнетизма, мячик тоже заряжен. Глюоны не просто переносят сильное взаимодействие, они его *чувствуют*, что разительным образом отличает их от фотонов. Глюоны притягивают друг друга и запутываются в структуры, которые называются глюболами. Это значит, что глюоны не могут летать далеко и сразу попадают в ловушку — это одна из главных причин, по которой сильное взаимодействие ограничено пределами ядра. Это вдвойне справедливо для кварков, которые дадут сто очков вперед отшельникам вроде Дж.-Д. Сэлинджера и Томаса Пинчона. Вне ядра они вообще не встречаются.

Наша теория гравитации, которая называется общей теорией относительности, вообще не требует частиц-переносчиков. Об общей теории относительности мы поговорим в главах 6 и 7, но тот факт, что гравитация, согласно теории относительности, настолько отличается от всего остального, — это тайна, разгадку которой мы, вероятно, узнаем, когда будет разработана «Теория Всего» (по крайней мере *убедительная* Теория Всего).

Если все силы «на самом деле» одинаковы, тогда у всех должна быть частица-переносчик, не так ли? Идея заключается в том, что гравитацию переносит частица под названием гравитон, но ее не просто еще не открыли — мы крайне далеки от технологической возможности провести эксперимент, чувствительности которого хватило бы для обнаружения этой частицы. Однако мы уже знаем, что если гравитоны существуют, то они, как и фотоны, должны быть лишены массы. Вот почему они способны передавать гравитационные сигналы на такие громадные расстояния.

Слабое взаимодействие отличается от других очень сильно и доказывает это, как только может. Самое интересное его отличие заключается в том, что слабое взаимодействие переносят три частицы переносчика. В отличие от пижонских названий, которые получили другие частицы, эти называются просто — *W*-бозоны и *Z*-бозоны^[70].

Почему же слабое взаимодействие настолько слабо, почему для того, чтобы хоть как-то проявиться, ему нужны дистанции субатомных размеров? Ответ мы уже знаем. Бозоны массивны, как гимнастические мячи, и им очень трудно перемещаться на дальние дистанции. Вероятно, вы не видите в этом ничего необычного, однако даже по самым простым теориям слабое взаимодействие, как и электромагнетизм и все прочие силы, должно иметь частицу-переносчик, лишенную массы. Почему же эти частицы совсем другие?

В физическом мире быть непохожим на других — сомнительное достоинство. Физики любят симметрию. Это настоящая любовь. Они посылают симметрии нежные записочки на лекциях и встречаются с ней после занятий с цветами. В целом физики понимают под симметрией вот что: можно менять параметры системы, но физика, которая стоит за ней, не меняется при этом ни капельки.

Представьте себе, что вы поехали за город поиграть в мини-гольф с племянником и племянницей и, в соответствии с традиционными гендерными представлениями, даете племяннику синий мяч, а племяннице — красный. Когда вы начинаете раунд, неважно, у кого синий мяч, а у кого красный, поскольку на игровые качества мяча цвет никак не влияет.

А теперь представьте себе, что на полпути к лунке вы отвлекли детей вкуснейшим мороженым и тайком поменяли местами синий и красный мячики. Если вы признаетесь детям, что поменяли мячики, ничего страшного не случится. Они вернуться к игре на том месте, где остановились, просто теперь племянник будет бить по красному мячу, а племянница — по синему. Конечно, подменить только один мячик и сделать так, чтобы на поле оказалось два красных, нельзя: тогда дети не будут знать, по какому мячику бить, и вы испортите им чудесный день.

Давайте обратимся к более научным материям, нежели мячики и клюшки. Дейтерий — это вариант водорода, ядро которого состоит из протона и нейтрона. Если бы вы попытались заменить один из нейтронов протоном или наоборот, у вас бы получился феномен вроде лох-несского чудовища или снежного человека: очень занятный, но несуществующий. Физики так ценят симметрию, поскольку с фундаментальной точки зрения любые два электрона — или любые две элементарные частицы одного и того же типа — в точности одинаковы, неразличимы. На микроскопическом уровне нельзя сказать «*тот* электрон» и «*этот* электрон». Мы просто отмечаем, что их два.

Так, но не совсем. У электронов есть еще одно свойство — спин, — как мы заметили, когда обсуждали в предыдущей главе ЭПР-парадокс.

Спин электрона может быть направлен вверх или вниз. В чем разница? Во многих случаях разницы никакой. Например, электрон со спином, направленным вверх, имеет ту же массу и заряд, что и электрон, чей спин направлен вниз. С другой стороны, если мы пропустим электрон со спином, направленным вниз, через магнитное поле, он отразится не в том направлении, что электрон, чей спин направлен вверх. Более того, при помощи магнитного поля можно превратить электрон со спином, направленным вниз, в электрон со спином, направленным вверх, и наоборот. Тут-то в игру и вступает симметрия. Физики отмечают, что две частицы совершенно одинаковы, кроме одного относительно небольшого различия. Мы думаем о них как о двух версиях одной и той же частицы.

Разумеется, иногда эта аналогия оказывается довольно-таки натянутой. Например, при игре в мини-гольф можно всегда заменить красный мяч синим, и ничего ужасного не произойдет. На игровые качества мяча цвет, повторим, не влияет. Но что будет, если мы заменим красный мяч футбольным? С точки зрения игры в гольф такая подмена будет «плохой симметрией», поскольку один мяч влезает в лунку, а другой — нет. Однако если бы вы не играли в гольф, а хотели проверить, ровный ли у вас в гостиной пол, то мяч для гольфа и футбольный мяч послужили бы этой цели с одинаковым успехом.

Более того, у электронов есть еще одно качество — так называемая фаза, которую вообще невозможно измерить. Измерить можно только разницу в фазах между двумя электронами^[71].

Два электрона с разными фазами в некоторых отношениях — одна и та же частица, а в некоторых — разные.

Да уж, с этими электронами одна морока.

В 1940 годах Ричард Фейнман из Калифорнийского технологического института придумал совершенно новый подход ко всему этому. Он спросил, что бы произошло, если бы существовало поле, способное менять фазу электрона (или любой другой заряженной частицы) на другую фазу. Пробившись сквозь математические дебри, он обнаружил, что это и есть электромагнитное поле. Такое странное предположение — что электроны с одной фазой можно превратить в электроны с другой — стало основой для того, чтобы предсказать все, что касается света. Если бы Фейнман проделал те же вычисления на сорок лет раньше, то предсказал бы фотоны до того, как Эйнштейн доказал, что они существуют.

Мы полностью согласны, что такой подход, получивший название «квантовая электродинамика», представляется абсолютно надуманным. У нас нет ни малейших представлений о том, почему Вселенная решила

обзавестись физическими законами, построенными так, чтобы для них были справедливы аргументы, основанные на симметрии. Но это факт — аргументы справедливы.

Именно в этом случае физики и вспоминают о своей старинной подруге — симметрии. Может быть, если этот подход годится для одной из фундаментальных сил, он сгодится и для остальных? На первый взгляд электроны и нейтрино не слишком похожи друг на друга. Во-первых, электроны заряжены отрицательно, а нейтрино электрически нейтральны. С точки зрения электромагнетизма они вообще очень разные. Хотя обе частицы крайне легки, нейтрино настолько малы, что физики долгое время считали, будто у них вообще нет массы.

Однако у электронов и нейтрино явно есть нечто общее. Если в результате реакции появляется нейтрино, можете смело ставить последний доллар за то, что в этом замешан электрон. Поэтому, вероятно, эти частицы в чем-то симметричны, только симметрия очень слабая. Гипотеза заключается в том, что существует слабое поле, а на самом деле целых три, которое способно превратить электрон в нейтрино и наоборот, или превратить *u*-кварк в *d*-кварк, или позволить нейтрино разбежаться друг от друга. Маленькие «кусочки» этого поля можно засечь детектором — это частицы *W* и *Z*.

Мы могли бы проделать примерно такие же или гораздо более сложные логические выкладки и выявить качества глюонов, носителей сильного взаимодействия, или гипотетического гравитона, носителя гравитации. Но мы этого делать не будем. Нас (как и исследователей, работающих на БАК) интересует разгадка тайны слабого взаимодействия. Формулы слабого взаимодействия, которые получаются, когда мы проделываем вычисления, основанные на симметрии, оказываются почти идеально точными — как и в случае с электромагнетизмом.

Почти.

В главе 1 мы видели другую форму симметрии. Тогда мы ее так не называли, но отметили, что вся физика Вселенной имеет одинаковый смысл, когда вы стоите неподвижно или двигаетесь равномерно и прямолинейно. Кроме того, мы видели, что скорость частиц, очевидно, менялась в зависимости от того, двигаетесь вы или сохраняете неподвижность. С одним исключением: частицы, лишенные массы, всегда двигаются со скоростью света.

Очевидно, в частицах, лишенных массы, есть что-то особенное, и из этого должно следовать, согласно нашим симметрическим аргументам, что все частицы-переносчики должны быть лишены массы. Фотоны и глюоны

именно таковы. Хотя мы так и не получили гравитон, тот факт, что гравитация распространяется со скоростью света, означает, что гравитоны должны быть тоже лишены массы.

С другой стороны, частицы W и Z обладают массой, и еще какой^[72].

Они примерно в 100 раз массивнее протона. С точки зрения математики нужно **здорово** повозиться с формулами, чтобы с этим разобраться.

V. Почему я не могу сбросить вес (или массу) до нуля?

Насколько мы понимаем, аргументы, основанные на симметрии, о которых мы говорили выше, и в самом деле описывают фундаментальные уравнения Вселенной. Частицы действительно способны превращаться друг в друга. Если эта догадка верна, то мы могли бы предсказать каждую из фундаментальных сил, существование электронов и нейтрино, различные разновидности кварков и так далее.

Но мы этого не можем. Главная проблема — это масса, она словно борец сумо на тренажере «Кузнечик». Массы должны быть лишены не только частицы W и Z . Если бы мы начинали с нуля, создавая самую простую из возможных моделей Вселенной, мы бы предположили, что кварки, электроны и нейтрино тоже должны быть лишены массы. А у них масса есть.

Большинство популярных книг по физике говорит о концепциях наподобие «спонтанного нарушения симметрии» и других технических терминах, цель которых — описать массу через реальные частицы. А на самом деле эти концепции — не более чем условное описание, при помощи которого описывается математика, которая (гм!) отлаживает уравнения, чтобы они предсказывали именно то, что мы наблюдаем на самом деле.

Так далеко мы заходить не хотим. В этом нет ничего нечестного. Более того, это и есть физика высшего сорта. Вы придумываете теорию, Вселенная не соответствует вашим предсказаниям, поэтому вы придумываете новый инструмент, чтобы подправить математику. Например, кварки поначалу были придуманы как математическое допущение, а потом оказалось, что они и вправду существуют.

Было бы глупо описывать математику, которая требуется, чтобы обойти препятствия, с которыми мы до сих пор столкнулись. Было бы отнюдь не глупо, если бы мы подвели итог. В 1960-х годах Питер Хиггс из Эдинбургского университета предположил, что во Вселенной существует еще одно поле — кроме тех полей, о которых мы уже успели поговорить. Назвали его весьма свежо и оригинально — «поле Хиггса». Поле Хиггса имеет одно радикальное отличие от всех тех полей, о которых мы упоминали: оно не несет силы.

Поле Хиггса пронизывает всю Вселенную. Вы в нем так и купаетесь. Но почему же мы его не замечаем, если оно нас окружает? Что оно делает,

это поле Хиггса? Попробуем объяснить предельно просто: представьте себе, что это поле — что-то вроде густого меда. Положите кварк в большое ведро, полное поля Хиггса, и подтолкните его. Что будет? Толкать кварк, взаимодействующий с полем Хиггса, труднее, чем вы думали. С физической точки зрения чем труднее что-то двигать, тем оно массивнее. То есть поле Хиггса «придает» частицам массу.

Мы бы не хотели слишком долго развивать эту аналогию. Если бы поле Хиггса действительно было похоже на густой мед, то частица, придя в движение, начинала бы потом тормозиться. А этого явно не происходит. И все же в основном картина состоит в том, что, подобно тому как электромагнитное поле создает взаимодействие, которое двигает заряженные частицы, поле Хиггса создает взаимодействие, которое придает частице массу.

Все это кажется чистой воды умствованием, верно?

Но дело отнюдь не в том, что нервный физик хватается за соломинку. Мы уже упоминали гипотезу о том, что разнообразные силы во Вселенной — всего лишь разные аспекты одной-единственной силы. Например, когда-то считалось, что электричество и магнетизм — совершенно разные явления, пока в 1865 году Джеймс Клерк Максвелл не показал, что это Просто разные аспекты одного и того же электромагнитного взаимодействия.

С тех самых пор физики пытаются показать, что оставшиеся четыре силы — это на самом деле три, две или в идеальном случае одна. Что же это означает? Ведь фундаментальные силы и в самом деле кажутся очень разными. Сегодня так и есть, однако, как выясняется, все зависит от того, достаточно ли Вселенная разогрета.

В 1961 году Шелдон Глэшоу, Стивен Вайнберг и Абдус Салам показали, что электромагнетизм и слабое взаимодействие — это одно и то же. На первый взгляд это смелое заявление. Различия между электромагнетизмом и слабым взаимодействием бросаются в глаза. Частица-переносчик у Электромагнетизма не имеет массы, а слабые взаимодействия происходят через частицы W и Z , которые очень и очень тяжелы. В результате электромагнитные взаимодействия могут распространяться на большие расстояния, а слабые взаимодействия — только на очень близкие».

В общем, сами видите: пока что получается, что это разные силы. Странно. Как же объединить два настолько различных явления? Глэшоу, Вайнберг и Салам рассмотрели то, как эти силы выглядели на заре Вселенной, при высокой температуре и энергии. И оказалось, что полная

теория электрослабых взаимодействий требует четыре частицы-переносчика, которые взаимодействуют с примерно одинаковой силой.

Однако по мере того, как Вселенная остывала, поле Хиггса (которое существовало все это время и никуда не девалось) начало уставать. И когда оно (метафорически) вышло на пенсию, то начало принимать горячее участие в делах соседей. Три из электрослабых частиц (обе W и Z) начали взаимодействовать с полем Хиггса и получили массу, а фотон так и остался без массы. Теперь, поскольку поведение частиц W и Z стало так разительно отличаться от поведения фотона, мы вынуждены дать взаимодействию новое название — слабое взаимодействие. Вроде бы получилась славная история с хорошим концом — если бы не одна малость.

Чтобы убедиться в том, что две настолько разные силы можно объединить, нужно убедительное доказательство. Теория электрослабого взаимодействия не безупречна. Нельзя взять и сочинить историю, а потом надеяться, что все в нее так сразу и поверят. Одно из самых солидных предсказаний электрослабой теории — соотношение масс частиц W и Z . Было предсказано, что частицы Z на 13 % тяжелее частиц W , — и это экспериментально подтвердилось, причем до смешного точно.

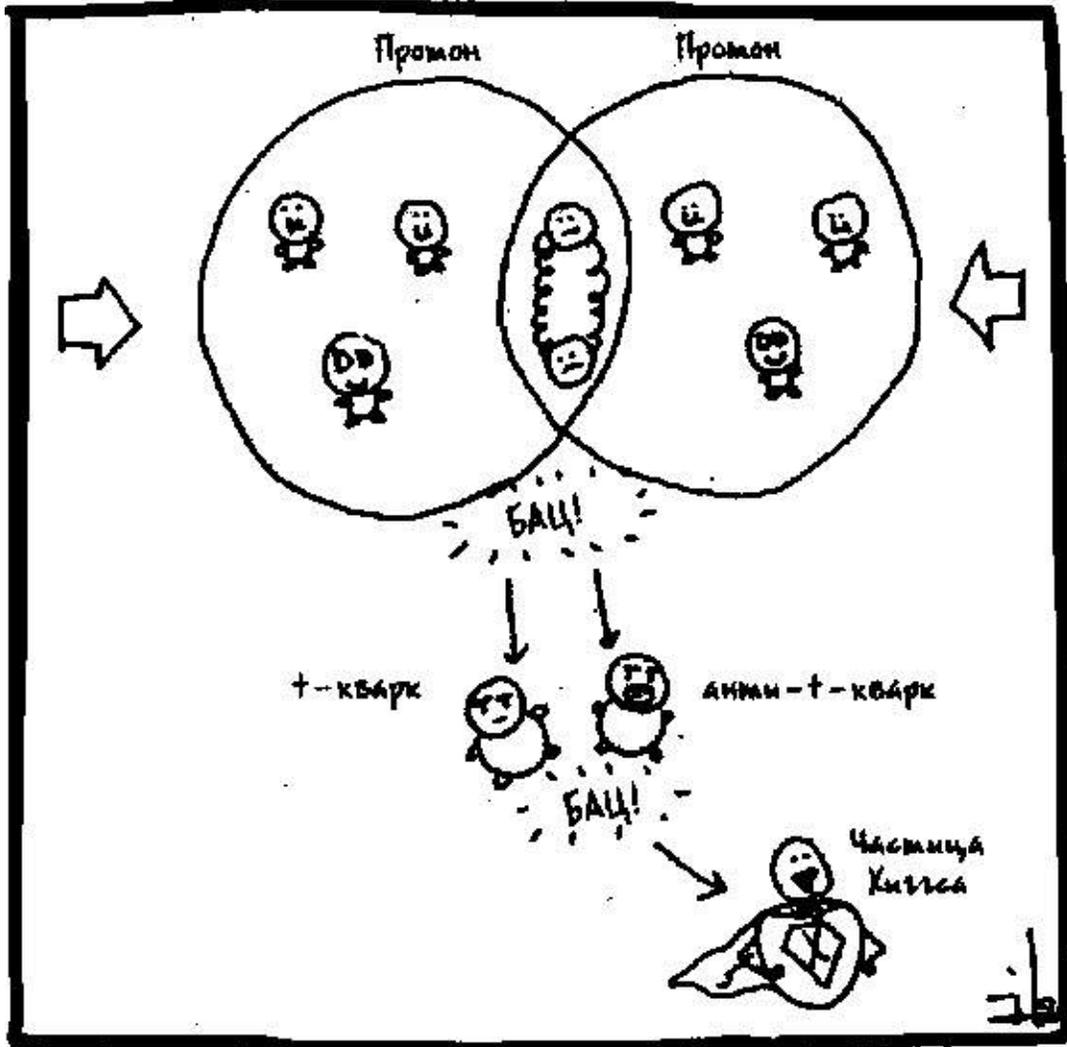
Слабое место состоит в том, что если мы хотим, чтобы все это имело смысл, следует допустить, что поле Хиггса действительно существует. Иначе электромагнитные и слабые поля были бы до сих пор едины. Второй вариант — эта теория совершенно ошибочна, и нам нужно начинать с нуля. Однако, чтобы сохранить коллективный рассудок, предположим на минуту, что поле Хиггса существует. В этом случае, как и в случае всех остальных полей, маленькие кусочки поля Хиггса должны наблюдаться в виде частиц. Единственная сложность заключается в том, что «частица Хиггса» электрически нейтральна (а значит, при нормальных обстоятельствах ее трудно заметить) и крайне массивна (а значит, ее трудно создать в коллайдере, а если удастся, она очень быстро распадется).

Насколько она массивна, мы не знаем, но если бы она была легкой, мы бы давно ее пронаблюдали, а если бы она была слишком массивной, то частицы W и Z имели бы другое соотношение масс. Эти два ограничения заставляют считать, что частица Хиггса должна быть в 120–200 раз тяжелее протона, и цель игры, кроме того, чтобы обнаружить частицу Хиггса как таковую, — вычислить, какова ее масса. Даже до БАК физики, работающие на коллайдере-теватроне лаборатории им. Ферми, в начале 2009 года показали, что масса частицы Хиггса **не может быть** в 170–180 раз больше массы протона.

Как же мы собираемся вытащить одну из этих негодниц из

коллайдеров? До сих пор мы говорили о столкновениях протонных пучков, но на самом деле есть занятие поинтереснее, чем сталкивать протоны. Когда частицы разгоняются, они набирают очень много энергии. Но когда встречаются два протона, сталкиваются не сами протоны, а их податливое содержимое.

Кварки и глюоны внутри каждого протона набирают во время пути вокруг коллайдера много энергии, и именно столкновение глюона с глюоном и высвобождает большое количество энергии, из которой создаются гигантские частицы вроде частицы Хиггса.



Почти все это мы додумали — или, лучше сказать, сделали крайне схематичный набросок, основанный на том, что нам известно. Нам известно, что эти частицы никогда не были засвидетельствованы ни в одном ускорителе частиц, однако в БАК можно будет проводить

эксперименты с небывало высокими энергиями. Это значит, что если в предыдущих ускорителях мы уже исследовали нижнюю часть спектра масс, то теперь сможем искать самые массивные из частиц Хиггса, предсказываемых теорией. И мы уверены, что если столкнуть два кварка с достаточно высокой энергией, в результате реакции появится частица Хиггса.

Если она существует.

VI. Как же старина БАК, такой малюсенький, уничтожит такой большой мир?

Итак, мы наконец поняли, зачем построили БАК, но мы знаем и то, что любопытному на днях прищемили нос в дверях и любопытство сгубило кошку^[73].

Если мы откроем частицу Хиггса, будет здорово. Это определенно докажет, что мы страшно умные, но нам бы очень не хотелось перемудрить. Это не в наших интересах.

Например, если мы сумеем получить одну массивную частицу — частицу Хиггса, — столкнув два кварка, не окажется ли, что мы сумеем получить и другую, совсем другую частицу, крайне опасную? Конечно, при высокоэнергичном столкновении можно получить много всякой всячины. Общественность боится, что если две частицы столкнутся, они создадут что-то очень-очень страшное: черную дыру или некоторую экзотическую материю под лирическим названием «стрпельки». Могут ли они уничтожить мир?

Ультрасупермегакошмарный сценарий № 1. Черная дыра заглатывает Землю изнутри

О черных дырах мы поговорим подробно в главе 5, а сейчас вам нужно знать лишь один важный факт: если вы уроните ключи в черную дыру, забудьте о них, поскольку их, увы, уже не вернуть. Существует точка, откуда нет возврата — так называемый горизонт событий, — и чем больше вещества падает в черную дыру, тем больше становится горизонт событий, а следовательно, и черная дыра.

Так что же произойдет, если два протона столкнутся в БАК и каким-то образом превратятся в черную дыру? Черная дыра будет массой самое большое в 14 тысяч масс протона — то есть по человеческим масштабам совсем крохотулечная. Более того, горизонт событий будет даже меньше, чем размер ядра атома. Нужно быть очень метким, чтобы уронить в нее хотя бы частичку.

Должно быть, вам кажется, будто можно вздохнуть с облегчением —

ан нет, не расслабляйтесь! Следует помнить, что наша микроскопическая черная дыра — неостановимая машина для убийств. Стоит ей натолкнуться на другие частицы, и она их поглотит и будет расти все быстрее и быстрее. Мы боимся, что микроскопическая черная дыра, сформировавшись, начнет расти, упадет к центру Земли, где продолжит расти, и впоследствии поглотит Землю.

Ужас, правда?

БАК и его головная организация ЦЕРН были так озабочены проблемами связей с общественностью, которые возникли при строительстве и запуске коллайдера, что создали две экспертные группы — одну в 2003-м, другую в 2008 году, — которые должны были выяснить, есть ли вероятность, что мир будет уничтожен. Их заключение гласит, что «нет никаких оснований считать, что БАК представляет собой какую бы то ни было угрозу». Еще бы! Что еще они могли сказать? Однако если мы с вами немного подумаем, то придем к тому же заключению.

Первая утешительная новость — тот факт, что все процессы, которые будут происходить в БАК, уже происходили на Земле больше 100 тысяч раз, и мы по-прежнему с вами и можем это обсуждать.

Космические лучи двигаются с энергиями даже выше, чем те, которых мы достигнем в БАК. И они постоянно врезаются в атмосферу. Все опасности, связанные со столкновениями высокоэнергичных протонов, повторялись снова и снова.

Земля по-прежнему существует, следовательно, БАК не уничтожит Землю.

Давайте забудем о том, что Земля по-прежнему существует, и подумаем о том, почему она до сих пор не погибла. Прежде всего учтем, что, несмотря на колоссальные энергии, мы можем производить в БАК только частицы ниже определенной массы. Как мы уже говорили, верхний предел — примерно 14 тысяч масс протона. На практике он еще ниже, так как сталкиваются на самом деле кварки и глюоны, а не протон целиком. На самом деле будут создаваться частицы лишь примерно в тысячу раз массивнее протона.

С другой стороны, если мы хоть что-то понимаем в устройстве Вселенной, то знаем, что минимальная масса черной дыры составляет примерно 20 миллиардных долей килограмма — это так называемая масса Планка. Кажется, что она очень мала, но это примерно в квадрильон раз больше, чем самые массивные частицы, которые можно получить в БАК.

Откуда берутся эти пределы? Из неопределенности. В главе 2 мы увидели, что нельзя с определенностью сказать, где находится частица, и

чем меньше ее масса, тем больше неопределенность. С другой стороны, когда мы говорим о черных дырах, то имеем в виду, что вся их масса заключена в пределах горизонта событий. Вывод: если черная дыра слишком мала, то она вся «не поместится» в пределы горизонта событий. Точка пересечения — величина массы Планка.

Все наши знания показывают, что черные дыры размером меньше массы Планка образовываться не могут. Но вдруг мы ошиблись и они все равно образуются?

В главе 5 мы убедимся, что черные дыры в конце концов исчезают. Чем меньше черная дыра, тем быстрее она испаряется. Рассуждать о том, насколько быстро испарится черная дыра из БАК, бессмысленно, даже если предположить, что такая дыра все-таки образуется. Для сравнения скажем, что с того момента, когда черная дыра сформируется, до того момента, когда она исчезнет, она сможет пройти лишь микроскопическую долю размера ядра атома. Иначе говоря, у нее не будет времени, чтобы что-то поглотить.

Более того, мы дадим руку на отсечение, что черная дыра испарится. Если физика частиц нас чему-то и научила, так этому простому правилу: если частицу удастся создать в столкновении, значит, она способна распасться.

Ультрасупермегакошмарный сценарий № 2. Образуются стрепельки, которые затем сольются в кристалл, отчего весь мир станет странным. То есть странной материей

До сих пор мы вели разговор в основном о таком способе использования БАК, когда в нем будут сталкиваться друг с другом отдельные протоны. С другой стороны, БАК можно настроить иначе, и в нем будут сталкиваться отдельные ядра тяжелых атомов, в основном свинца, и эта ионная настройка породила дополнительный набор страхов.

Вероятно, вы думаете, будто мы уже рассказали вам обо всех потенциальных ужасах. Однако множество космических лучей, которые прошивают нашу атмосферу, состоит из тяжелых ионов. Чем это отличается от происходящего в БАК? Разница в том, что тяжелые ионы в атмосфере сталкиваются с легкими атомами вроде кислорода, азота и водорода, поэтому мы на Земле никогда не видели, что бывает, когда

сталкиваются два куска свинца.

Однако мы видели, что при этом происходит на Луне. На Луне ведь нет атмосферы, и космические лучи постоянно ее бомбардируют. Мы совершенно уверены, что Луна не уничтожена, поэтому и мы должны, вероятно, чувствовать себя в безопасности.

Вас это не убеждает, и мы слышим, как вы уточняете: «В безопасности? От чего?»

Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны сначала указать, что помимо **u**-кварков и **d**-кварков, о которых мы уже говорили, существуют и другие разновидности кварков. Всего их шесть, и **u**-кварки и **d**-кварки самые легкие — так уж совпало. Следующий по легкости — так называемый странный кварк, заряд которого, как и у **d**-кварка, равен — $\frac{1}{3}$.

Мы уже отмечали, что по большей части тяжелые частицы при всяком удобном случае распадаются на более легкие. Странные кварки имеют то же обихование. Однако есть вероятность, что гиперядра, содержащие один или два странных кварка, окажутся легче обычных ядер. Не верите? Как выяснилось, лишь 2 % массы обычного протона составляют **u**-кварки и **d**-кварки. Все остальное получается из энергии — энергии движения кварков и энергии взаимодействия между кварками и глюонами.

Не исключено, что гиперядра в БАК окажутся способны образовывать страпельки (состоящие из примерно равного количества странных кварков, **u**-кварков и **d**-кварков). Все это довольно-таки спекулятивно, поскольку странные кварки живут так мало, что не доступны никаким реальным экспериментам. Мы даже не знаем, что будет, если вводить странные кварки в обычную материю. В результате получилось огромное количество самых разнообразных теорий.

Некоторые из этих теорий абсолютно апокалиптичны. Их создатели и сторонники боятся, что стоит нам получить одну страпельку, и она свяжется с обычной материей, а обычная материя превратится в странную материю с меньшей энергией. Это будет происходить неопределенно долго, а в итоге планета и всё на ней погибнет. По случайному совпадению именно этот сценарий конца света подробно освещен в фильме «Возвращение Супермена», только вместо странной материи там криптонит^[74].

Это и правда страшновато — с той лишь поправкой, что никаких страпелек, судя по всему, не существует. Релятивистский коллайдер тяжелых ионов в Брукхавенской национальной лаборатории сталкивает тяжелые ионы, что очевидно из названия. И никаких свидетельств

существования стралелек там не обнаружили. От столкновения космических лучей стралельки тоже не получаютсЯ.

Так что спите спокойно. Физики часто придумывают устройства, которые способны уничтожить планету, но гигантская круглая дырка в земле к ним не относится.

VII. Удовлетворятся ли физики достигнутым, обнаружив частицу Хиггса?

Пока что мы достаточно твердо знаем, что мы ожидаем получить в БАК. Подавляющее большинство физиков несказанно удивятся, если частица Хиггса не будет обнаружена. Нам достоверно известно, что БАК не устроит нам конец света, а стандартная модель — не венец научной мысли. Почувствуйте привкус грядущего.

Теория струн

Неважно, кто вы — «крепкий орешек» от физики или всего лишь любитель, который краем уха прислушивается к новостям с передовой науки, — наверняка вы что-то слышали о так называемой теории струн. Теория струн разработана для того, чтобы объяснить несколько загадочных явлений, о которых мы до сих пор намеренно не упоминали^[75].

Дело в том, что сила тяжести радикально отличается от остальных трех фундаментальных сил во Вселенной.

Сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия требуют частицу-переносчик, и в каждом случае мы экспериментально обнаружили эти частицы. Однако теория гравитации — общая теория относительности — не просто не нуждается в гравитоне: до сих пор ученые никакого гравитона не обнаружили. Более того, странно, что теория, стоящая за материальными частицами (кварками, электронами и так далее), так сильно отличается от теории переносчиков взаимодействия (фотонов, глюонов и им подобных). Нам было бы очень приятно, если бы нашлась теория унификации, в идеале — «Теория Всего» (или ТВ, как говорят самые крутые пацаны).

Теория струн, несмотря на свою незавершенность, — главный претендент на роль ТВ, а ее центральный нападающий, как вы, наверное, уже поняли, — так называемая струна. Представьте себе струну как резинку — только очень тоненькую, диаметром в 10^{-35} м. И что же это за струны? Вообще говоря, они составляют все сущее.

Вы должны понимать, что стандартная модель полагает, будто все частицы, о которых мы говорили в этой главе, — кварки, электроны, фотоны и так далее — бесконечно малы. Это точки в буквальном смысле слова. Стандартная модель не объясняет, почему у одной частицы одна масса и заряд (и прочие свойства), а у другой — другие.

Теория струн говорит, что единственная причина, по которой частицы выглядят как точки, — то, что мы к ним недостаточно пристально присматриваемся. На самом деле «точечные частицы» — это крошечные петли, которые постоянно вибрируют. Если вам это что-то смутно напоминает, так и надо. Именно это мы наблюдали в квантовой механике, когда видели, что все что угодно — фотоны, электроны, вакуумные поля — постоянно осциллирует, колеблется туда-сюда.

Чем сильнее струна вибрирует, тем она массивнее — не забывайте, что равенство $E = mc^2$ справедливо в обе стороны. Другие свойства осцилляции определяют все остальные свойства и качества частицы. Чтобы объяснить все свойства частиц, которые мы наблюдаем, предполагается, что струны вибрируют не только в тех трех измерениях, о которых нам известно в нормальной жизни. Это не значит, что струны не существуют, — это значит, что нам нужно больше измерений.

Поймите нас правильно. Мы не можем переместиться в более высокие измерения. Для начала нас там сплющит. Многие, если не все, дополнительные пространственные измерения очень малы — гораздо меньше» чем мы сможем обнаружить в БАК. Даже если бы мы умудрились придумать, как отправиться в эти скрытые измерения, они повели бы себя примерно как вселенная Пакмана^[76], и мы мгновенно вернулись бы туда, откуда начали.

Привести теорию струн в соответствие с законами физики в нашей Вселенной, опираясь только на три измерения, никак не удастся. Теории возникали одна за другой, количество потенциальных измерений росло и росло, и наконец в 1995 году Эдвард Уиттен из Института передовых исследований в Принстоне предложил нынешнего фаворита. По его версии, так называемой М-теории, мы живем в здоровенной вселенной аж с 10 измерениями.

Теория струн во многих отношениях очень многообещающа. Она предоставляет нам основу для объединения в единую теорию всех четырех фундаментальных сил. Она описывает силы и частицы с разных сторон одной и той же физики. Не исключено, что она даже позволит разобраться в природе пространства и зарождении Вселенной, как мы увидим в главах 6

и 7 соответственно.

С другой стороны, возникают и осложнения. Во-первых, проверить теорию струн очень трудно. Поскольку масштабы так малы, у нас практически нет надежды доказать теорию струн при помощи БАК или других экспериментов, которые мы будем способны поставить в обозримом будущем. Еще одна трудность — теория струн отвечает не на все вопросы теории частиц, оставшиеся пока без ответа.

Петлевая квантовая теория гравитации

В стандартной модели есть еще один большой провал, который теория струн даже не пытается заполнить. Как примирить две великие теории XX века — квантовую механику и общую теорию относительности, нашу теорию гравитации? Эти теории говорят нам «правду» о том, что происходит на микроскопическом уровне и на уровне очень сильной гравитации соответственно. Но что происходит в обстановке вроде черной дыры или на заре времен, когда, как полагают, играть роль может и то и другое?

Задумайтесь об этом. Как мы видели в главе 2, практически все аспекты физики поработаны неопределенностью — это и фотонная энергия вакуума, и движение электронов, и пути фотонов. Квантовая механика вплетена в три негравитационные силы. Сходство между ними послужило причиной того, что электромагнитное и слабое взаимодействия посчитали единым электрослабым взаимодействием. Еще оно стало причиной того, что физики выдвинули целый ряд соперничающих между собой «Великих единых теорий», где электрослабое взаимодействие объединяется с сильным. Гравитация стоит особняком. Как ни странно, общая теория относительности не носит ни следа случайности, которая проявляется в остальных трех силах. Нам бы очень хотелось получить в свое распоряжение «теорию квантовой гравитации».

Один из самых увлекательных и многообещающих подходов к этой проблеме называется «петлевая квантовая теория гравитации». Одна из самых странных черт этой теории — что пространство само по себе квантуется. То есть если рассмотреть его на достаточно мелких масштабах, окажется, что оно не гладкое и однородное, а разбито на этикетные пиксели. Обычно мы ничего такого не замечаем, поскольку масштабы, о которых мы

говорим, — около 10^{-35} метра, так называемая планковская длина. Планковская длина настолько же меньше атома, насколько атом меньше расстояния до ближайшей звезды. Сильнее дробить пространство невозможно. Из этого следует несколько занятных выводов, с которыми мы познакомимся при разговоре о Большом взрыве в главе 7.

Одна из симпатичных черт петлевой теории квантовой гравитации — то, что она требует не больше трех привычных нам измерений плюс еще одно, время. Кроме того, она естественно подводит нас к гравитону, отчего картина физики частиц становится куда более однородной. С другой стороны, петлевая теория квантовой гравитации сама по себе не может служить Теорией Всего. Остальные законы сил нужно вводить в нее вручную — как и кварки, и прочие фундаментальные материальные частицы.

Вся эта физика вне пределов, стандартной модели, вероятно, кажется вам примитивной уловкой, поводом найти себе занятие еще долго после того, как в БАК столкнутся последние частицы. Да, именно так. Но неужели вы всерьез полагаете, будто проблемы можно решать насильственным путем? Хотите или нет, но для того, чтобы раскрыть все тайны Вселенной, мало нескольких высокоэнергичных взрывов.

Приложение А

Полицейский архив. Досье на фундаментальные частицы

На протяжении всей этой книги мы старались делать все перечни как можно короче. «Стандартная модель» физики частиц поразительно хороша именно потому, что ее перечень частиц (хотя и довольно длинный) крайне прост. «Материя» Вселенной состоит из двух фундаментальных типов частиц — из кварков и лептонов. Каждая группа подразделяется затем на три «поколения», в каждом на которых имеется две частицы, у одной из которых заряд отрицательнее, чем у другой. Мы разбили наш список на поколения, и вы увидите, что у всех частиц много общего. Кроме того, это удобное пособие для интерпретации наших забавных картинок.

Лептоны

			
Название	Электрон	Мюон	Тау-лептон
Заряд	-1	-1	-1
Масса	0,026% протона	11,3% протона	190% протона
Первооткрыватель	Дж.-Дж. Томсон (1897)	Карл Андерсон (1936)	Мартин Перл (1975)

Это — заряженные лептоны. Они держат заряды в шляпах. Поскольку они заряжены, то взаимодействуют с электромагнитной силой. Кроме того, все лептоны вступают в слабое взаимодействие, и все частицы подвержены гравитации (поэтому в дальнейшем мы не будем об этом упоминать). Электрон — единственный, который мы видим в обычных условиях. Мюон распадается за миллионную долю секунды, а тау-лептон — еще быстрее.

			
Название	Электронное нейтрино	Мю-нейтрино	Тау-нейтрино
Заряд	0	0	0
Масса	?	?	?
Первооткрыватель	Клайд Коуэн и др. (1956)	Леон Ледерман и др. (1962)	Группа DONUT, лаборатория им. Ферми, Батавия, Иллинойс (2000)

У этих ребят нет шляп, а значит, нет и электрического заряда. Если они похожи друг на друга, в этом нет ничего удивительного. Разные типы нейтрино превращаются друг в друга без предупреждения (просто меняются галстуками) и даже вроде бы безо всякого взаимодействия. Эта «нейтринная осцилляция» (которая была подтверждена экспериментально на детекторе «КамЛАНД» возле японского города Тояма в 2003 году) означает, что нейтрино **должны** обладать массой. Но какой? Сказать очень трудно, но верхний предел для электронного нейтрино — меньше чем 0,3 % массы электрона. Пределы для остальных двух видов нейтрино, однако, куда выше, и масса тау-нейтрино, согласно последним измерениям, может быть в целых 30 раз больше массы электрона. С другой стороны, она может быть и гораздо меньше.

Названия каждого нейтрино происходят потому, что каждое из них напрямую ассоциируется с распадом или взаимодействием электрона в случае электронного нейтрино, мюона — мю-нейтрино и тау-лептона — тау-нейтрино.

На картинке про распад нейтрона вы, наверное, заметили, что у антинейтрино есть борода. Это — дань уважения классическому эпизоду «Звездного пути» под названием «Зеркало, зеркало» (сезон 2, серия 33), в котором злой «анти-Спок» щеголял растительностью на лице. Этим же отличаются все наши античастицы.

Кварки

			
Название	и-кварк	с-кварк	t-кварк
Заряд	$+2/3$	$+2/3$	$+2/3$

Масса	-0,4% массы протона	-130% массы протона	-180 масс протона
Первооткрыватель	Стэнфордский линейный ускоритель, эксперимент по «глубоко неупругому рассеянию» (1967)	Независимо Тинг и Рихтер (1974)	Теватрон в лаборатории им. Ферми (1995)

Все это положительно заряженные кварки. Выглядят они очень похожими за одним исключением — каждое следующее поколение становится все более пухленьким. *T*-кварк — самая мясистая из известных частиц. Он прямо-таки лопается по швам. Кроме того, это самая последняя из обнаруженных частиц.

Вы были бы вправе обвинить нас в недобросовестности, если бы мы не рассказали вам о некоей загадке, таящейся в нашей таблице. Вы заметили, что **u**-кварк обладает массой примерно в 0,4 % массы протона. Это несколько странно, поскольку протон делают из двух **u**-кварков и одного **d**-кварка, а значит, заметите вы, все кварки вместе составляют еле-еле 1–2 % массы протона. Откуда же берется вся остальная масса?

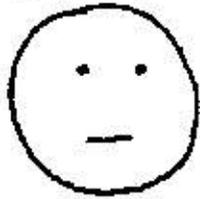
Вся остальная масса берется из энергии. Кварки, как и глюоны, летают очень быстро и взаимодействуют очень сильно, и подобно тому, как массу можно превратить в энергию, энергию можно превратить в массу. Если вам показалось странным, что поле Хиггса способно «создавать» массу, считайте это всего лишь очередным случаем, когда $E = mc^2$ применяется в обратную сторону.

			
Название	d-кварк	s-кварк (странный)	b-кварк
Заряд	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
Масса	-0,8% массы протона	-10% массы протона	$4\frac{1}{2}$ массы протона
Перво- открыва- тель	Станфордский линейный акселератор, вместе с u-кварком (1967)	Вместе с открыти- ем каона (1947)	Леон Ледерман и др. (1977)

Это отрицательно заряженные кварки. Самый странный из них — странный кварк. Когда в 1947 году были открыты частицы под названием каоны, сначала показалось, что они совершенно бессмысленны. Они распадались на частицы вроде антимюонов и нейтрино, но были настолько массивны (около половины массы протона), что не согласовывались ни с

одной из известных на то время частиц.

Лишь в 1964 году, когда Мюррей Гелл-Манн выдвинул идею кварка, стало ясно, что каоны распадаются на антистранный кварк и либо *u*-кварк, либо *d*-кварк. Странные кварки отличаются от прочих тем, что мы их открыли, еще не догадываясь, что они есть.

			Изображение недоступно
Название	Фотон	Глюон	Гравитон
Заряд	0	0	0
Масса	0	0	0
Перво-открыватель	Альберт Эйнштейн (1905)	Группа TASSO, Германский электронный синхротрон (1979)	Оставайтесь с нами, ждите новостей...

Переносчики взаимодействия

Это частицы-переносчики, лишенные массы, — носители трех из фундаментальных сил. Немного странно вписывать сюда дату открытия фотона — мы «наблюдаем» его постоянно. Однако интерпретация фотоэффекта, которую сделал Эйнштейн в 1905 году, — это момент, когда мы впервые поняли, что свет переносят частицы. Глюоны были обнаружены лишь около 30 лет назад.

Гравитоны, переносчики гравитационного поля, не только не обнаружены, но, согласно общей теории относительности, не очень-то и нужны. Однако есть веские причины предполагать, что гравитация должна быть похожа на остальные фундаментальные силы, а значит, у нее должен быть переносчик.

			
Название	Z^0	W^+	W^-
Заряд	0	+1	-1
Масса	97,5 массы протона	86 масс протона	86 масс протона
Первооткрыватель	ЦЕРН, группа UA1 (1983)	ЦЕРН, группа UA1 (1983)	ЦЕРН, группа UA1 (1983)

Эти пухленькие частицы отвечают за перенос слабого взаимодействия. Обратите внимание, что они очень похожи друг на друга, если не считать надписей на шляпах. Это не случайность. На самом деле W^+ и W^- такие близкие родственники, что являются друг для друга античастицами. Один из величайших триумфов теоретической физики XX века — вычисление отношения масс Z/W , примерно 1,13. Это предсказание было сделано на основе модели Хиггса, а затем подтвердилось экспериментально с поразительной точностью.

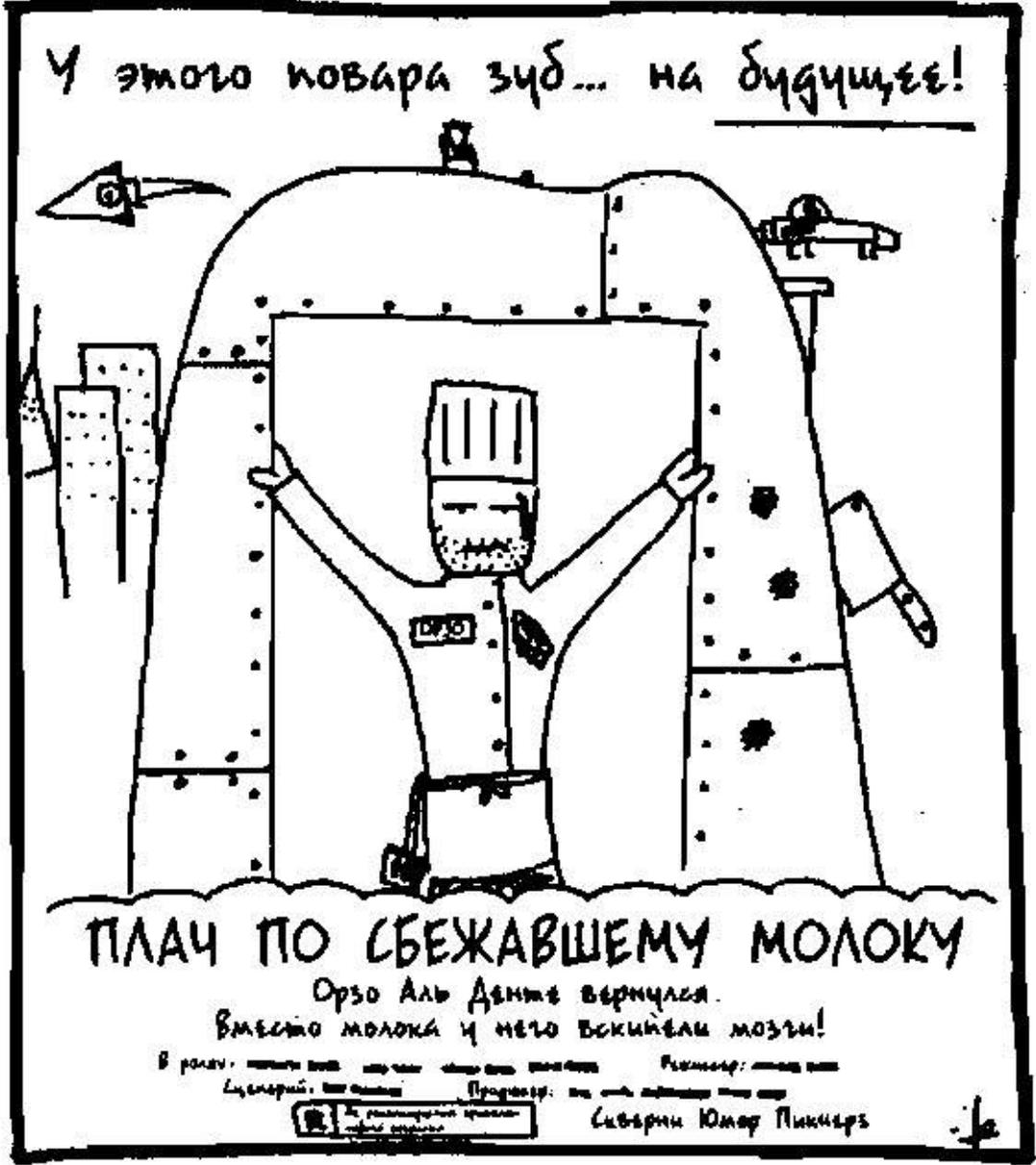


И наш герой:

Частица Хиггса. Она лишена заряда, но не обаяния. Это единственная частица в стандартной модели, которую еще не открыли, поэтому мы не знаем, какой именно массой она обладает. Скорее всего, это от 120 до 200 масс протона. Поскольку он вступает в сильное взаимодействие с массивными частицами, у него складываются запутанные и сложные

отношения с t -кварком.

ПУТЕШЕСТВИЕ ВО ВРЕМЕНИ



Глава 5. МОЖНО ЛИ ПОСТРОИТЬ МАШИНУ ВРЕМЕНИ?

ГЛАВА 5

Можно ли построить машину времени?

Хотелось ли вам когда-нибудь покататься на динозавре? Попить чайку с королевой Викторией? Произвести сенсацию на фьючерсных торгах? А может быть, вы робот-убийца и у вас руки чешутся не допустить рождения одного-единственного супергероя, который способен остановить восстание роботов? Для всего этого вам понадобится машина времени, а они по дешевке не продаются. С нашей точки зрения, проще смастерить такую машину своими руками, и лично мы вам мешать не будем, но ваше семейство, надо полагать, в восторг не придет. Родственники сразу скажут вам, что ничего у вас не выйдет. Не исключено, что они сочтут вас чокнутым.

Но разве создать машину времени в принципе невозможно? И что такого плохого в том, чтобы быть чокнутым?

В мире есть вещи похуже умопомешательства, особенно если ты ученый и вообще профессор. Обычные профессора могут переключать напряжение с помощью катодного осциллографа, а чокнутый профессор — останавливать время ледяным лучом. Кругом полно героев, которым нужно ставить палки в колеса, и очаровательных подружек супергероев, которых так удобно похищать. Если бы мы снова поступали в университет, то, пожалуй, предпочли бы чокнутую науку обычной.

Рядовым примером чокнутой технологии на уровне научной фантастики можно считать телепортацию. Как мы уже видели в главе 2, эта популярнейшая техническая новинка из комиксов уже в нашем распоряжении. К несчастью, пока что мы способны телепортировать атомы по одному, так что, честно говоря, легче их, негодников, просто переносить

вручную.

Главное, хотя технические новинки из комиксов и научной фантастики не обязательно противоречат научным данным, они чаще всего не стоят затраченных усилий. Вероятно, именно поэтому, в частности, у чокнутых профессоров столько неприятностей. Вероятно, дело еще и в том, что большинство их хитроумных приспособлений нарушают очень важные законы — и не только те, которые защищают супергерои, вертящиеся под ногами дети и их верный пес.

I. Можно ли построить вечный двигатель?

Рассмотрим старый добрый классический вечный двигатель. Это изобретение чокнутой науки представляет собой устройство, которое не растрчивает энергию, не изнашивается и работает вечно^[77].

Лучшие из них делают следующий шаг и неустанно вырабатывают энергию — видимо, из ничего.

Редколлегии журналов обожают получать статьи о вечных двигателях, поскольку рецензии на них пишутся на полном автопилоте. «А вот и нет, а вот и нет, — говорят рецензенты, — по закону сохранения энергии^[78] из ничего не получится ничего!»

Положим, иногда они пересказывают закон сохранения энергий своими словами, но по сути они правы: локально невозможно ни создавать, ни уничтожать энергию, а энергия в замкнутой системе может преобразовываться (например, в массу и из массы), но общая сумма должна оставаться постоянной.

Не исключено, что чокнутые профессора, мечтающие о вечном движении или генераторах энергии, — поголовно идиоты. В конце концов, человек, рассказывающий о своих планах завоевать мировое господство не просто первому встречному, а именно тому, кто способен эти планы расстроить, вполне способен и проворонить всякие мелочи вроде закона сохранения энергии. Но ведь, с другой стороны, не исключено, что чокнутый профессор обнаружит лазейку в законах, красной нитью проходящих по самой ткани пространства и времени.

Иногда чокнутого профессора и не отличишь от обычного ученого. Чтобы окончательно прояснить, что именно мы пытаемся доказать, упомянем о том, как Ричард Фейнман, который тогда работал в Калифорнийском технологическом институте, придумал очень хитроумный вечный двигатель — но с преднамеренным изъяном. Хотите, расскажем, как он был устроен? Конечно, хотите. Продемонстрировать его помогут наши славные ассистенты: позвольте представить вам парочку архизлодеев, у которых отрицательная научная харизма прямо-таки лезет из ушей, — доктора Дейва и его подельника Робо-Джеффа.

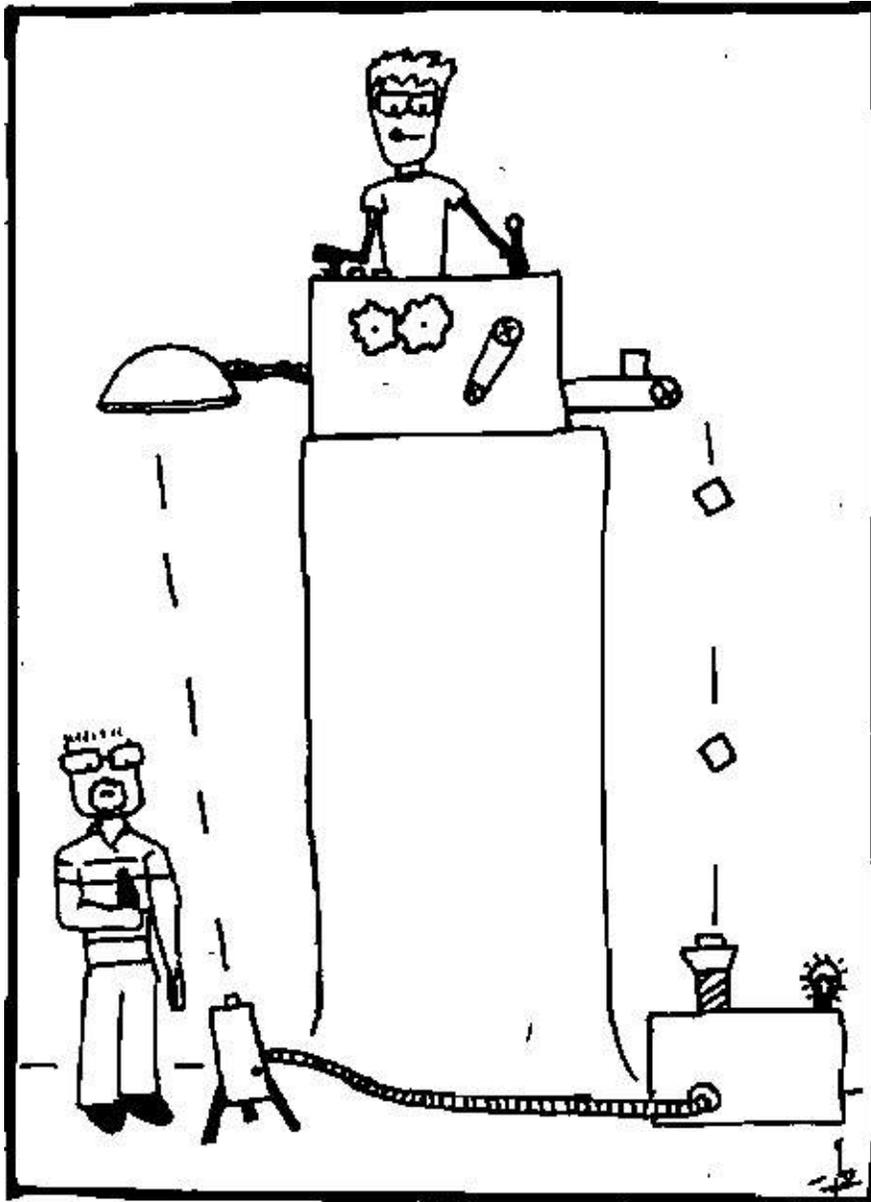
1. Доктор Дейв берет лазер и направляет его на вершину утеса, где ждет Робо-Джефф с параболической тарелкой в руках.

2. Собрав луч, Робо-Джефф превращает его свет в массу (детали опустим) при помощи великого уравнения Эйнштейна: $E = mc^2$.

3. Робо-Джефф роняет массу с утеса. Как вы знаете, когда вы что-то роняете, то оно набирает энергию.

4. Вуаля! Когда масса долетает до низа, энергии в системе больше, чем в начале. Некоторым количеством энергии злодеи заряжают лазер, а остальную используют на что-нибудь полезное — например, заряжают лазер побольше.

Беда только в том, что такой вечный двигатель не работает, и Фейнман знал об этом с самого начала.



ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Нет, мы не придумали способ нарушить первый закон термодинамики,

а всего лишь показали всем этим устройством, что если свет исходит от источника гравитации, он должен потерять энергию. Если направить лазерный луч снизу вверх, на утес, энергия луча наверху будет меньше, чем внизу. С другой стороны, если свет падает к Земле, то набирает энергию. Это не просто произвольная спекуляция. В 1959 году Роберт Паунд и Джордж Ребка, которые тогда работали в Гарварде, сумели измерить потерю энергии фотонов, когда фотоны летели вверх вдоль стены лаборатории Джефферсона в Гарварде — всего в 22,5 метра высотой.

Измерить эту потерю непросто. В ходе эксперимента Паунда-Рибки фотоны потеряли всего одну квадриллионную своей начальной энергии. Даже если бы мы направили лазерный луч на утес, уходивший в глубокий космос, мы бы потеряли лишь одну миллиардную его энергии. Неудивительно, что в обыденной жизни подобные явления не бросаются нам в глаза. Если бы гравитация была сильнее, она бы проявлялась гораздо заметнее, а измерить ее было бы проще.

Великолепным примером маленьких тугих тучков с гравитацией служат белые карлики. Белые карлики обладают массой примерно в миллион раз больше массы Земли, хотя размера они сравнимого, поэтому и гравитация там примерно в миллион раз сильнее. Если бы вы находились на белом карлике, то весили бы в миллион раз больше, и если бы мы были хуже воспитаны, то донимали бы вас сальными шуточками.

Но во Вселенной есть места и с более суровыми условиями, чем белые карлики. Представьте себе, что мы стоим на поверхности крайне массивной планеты, где гравитация крайне сильна, и направляем в воздух лазерный луч. Чем выше взлетает фотон, тем больше энергии он теряет.

Теперь представьте себе, что эта планета еще и крайне компактна. В таком случае свет потеряет столько энергии, что обратится вспять и вернется на поверхность планеты. Или не вернется? Если планета и правда такая плотная, что свет не может с нее выбраться, то он, прежде всего, и вверх не поднимется. Это вроде малыша, который пытается идти вверх по эскалатору, едущему вниз. Ах, лапочка, он так старается, но неминуемо спускается все ниже и ниже. Вообще-то у такой планеты и поверхности толком не будет. Она тоже схлопнется под воздействием чудовищной гравитации, и вся планета тоже схлопнется в одну точку — в сингулярность.

Создать такую сингулярность — дело трудное. Чтобы сгенерировать подобную гравитацию с помощью нашей Земли, мы должны будем сжать ее в шарик в 7,5 миллиметра в диаметре. Даже солнце, которое массивнее Земли в триста тысяч раз, придется сжать до радиуса 3,2 километра. Это

меньше Манхэттена.

Такова общая идея черной дыры — это настолько компактная система, что от нее не может убежать даже свет. Горизонт событий, точка, откуда нет возврата, — это невидимая граница между отчаянным притяжением очень сильной гравитации и билетом в один конец к центру массивного чудища. Стоит чему-нибудь — звезде, одинокому носку, ключам от машины, частице — пересечь горизонт событий, и его затянет в черную дыру. Этой алчной пасти не избежать даже фотону. Раз уж свет, оказавшись за горизонтом событий, не может оттуда вырваться, больше ничто не в силах. Не забывайте: скорость света — это вселенский предел скорости.

Черная дыра — необходимейшее орудие в арсенале чокнутого профессора. Она пригодится для самых разных целей — в ней хорошо топить надоедливых протагонистов и прятать результаты неудавшихся биологических экспериментов. Но больше всего любому по-настоящему чокнутому профессору хочется найти применение тому, что гравитация вблизи черной дыры сворачивает время, и создать на этой основе машину времени.

Прежде чем мы разберемся, что такое черная дыра и с чем ее едят и можно ли (или нельзя) сделать из нее машину времени, давайте «вспомним» некоторые черты фотонов — частиц, которые, как мы обсудили в главе 2, составляют свет.

Как вы помните, если вы видели один фотон, значит, видели все. По сути дела, разница между ними только в том, что одни фотоны более энергичны, другие менее. Есть много свойств света, которые на первый взгляд кажутся разными, но на самом деле это разные проявления одного и того же. В случае света количество энергии фотона коррелирует с цветом светового луча. Эта взаимозависимость энергии и цвета простирается далеко за пределы видимого спектра.

В главе 2 мы также поговорили о том, что свет ведет себя как кусочки волн и чем выше энергии, тем короче длина волны. Самое главное в этом (в рамках настоящей дискуссии) — то, что, поскольку фотоны представляют собой маленькие волны, мы можем засечь время, которое требуется, чтобы два последовательных фронта волны прошли фиксированную точку, — этот интервал называется периодом волны. Помните, в главе 1 мы говорили о цезиевых часах? Теперь мы готовы рассказать вам, что мы на самом деле имели в виду. Если взять фотон, который испустил атом цезия, и измерить время между гребнями волны, то он будет вести себя как часы — одни из точнейших часов во Вселенной.

При большой длине волны (и низкой энергии) гребни движутся

относительно медленно. Например, радиоволна колеблется примерно 100 раз за каждую миллионную долю секунды — но для субатомных частиц это вечность. У более коротких волн период тоже короче. Зная лишь эти несколько фактов и вооружившись нашим лазерным мысленным экспериментом, мы будем практически готовы самостоятельно открыть одно из великих достижений Эйнштейна — общую теорию относительности.

II. Реальны ли черные дыры или физики просто выдумали их от скуки?

Общая теория относительности рассказывает нам, как на самом деле устроена гравитация, и точно описывает мерзкое нутро предметов наподобие черных дыр. В числе прочего мы увидим, что время и пространство отнюдь не так абсолютны, как мы думали, и что возле черных дыр происходят очень странные вещи.

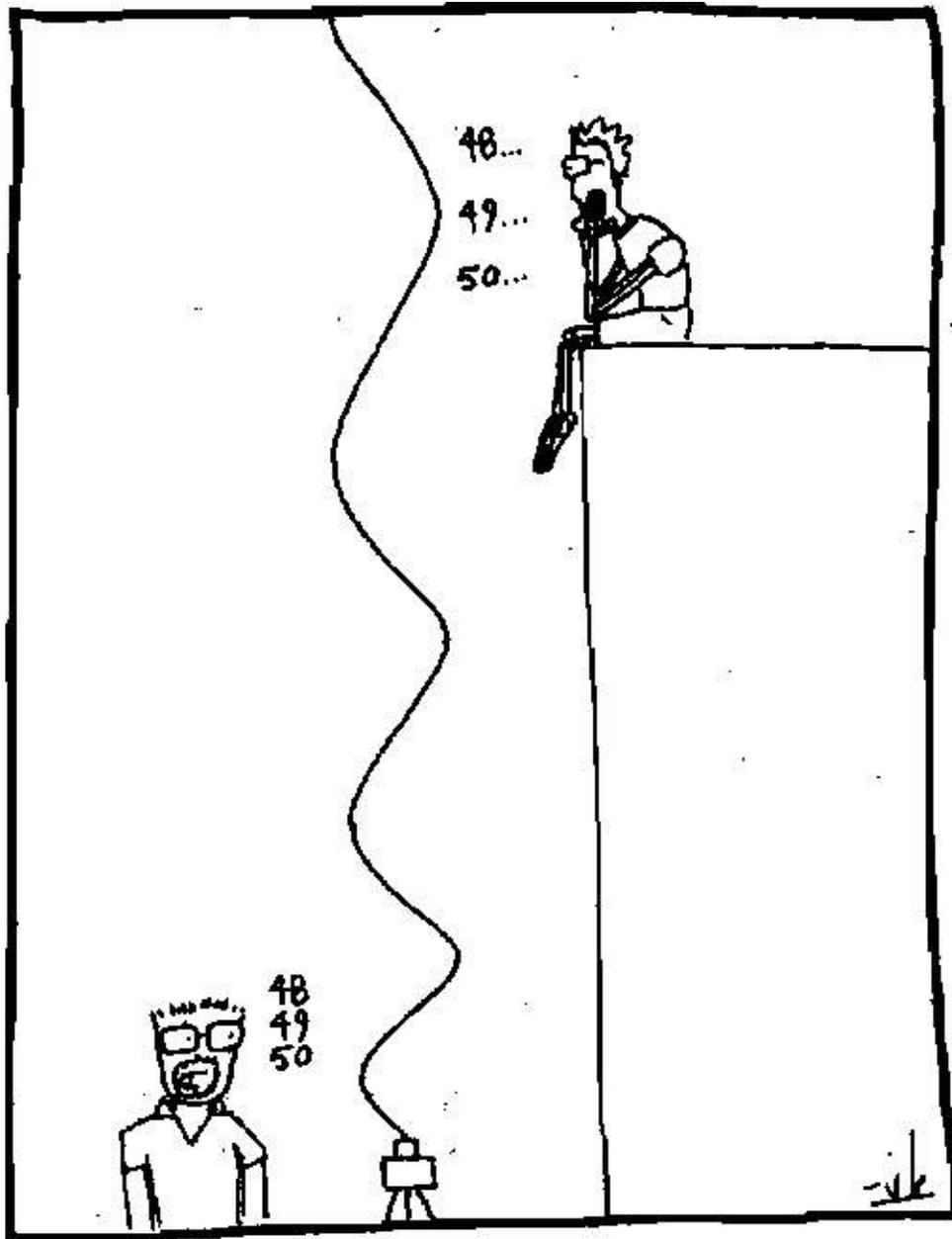
Представьте себе, что доктор Дейв и Робо-Джефф берут свой вечный двигатель на планету с очень сильной гравитацией. Они снова направляют лазерный луч на вершину утеса. К тому времени, как лазер достигнет вершины, он утратит некоторое количество энергии и станет немного краснее. Из-за растяжения времени период фотона, измеренный на вершине утеса, будет длиннее, чем у подножия.

Это же фотонная версия наших цезиевых часов! Давайте же найдем им применение. Скажем, доктор Дейв шлет фотонный луч на вершину утеса с периодом в одну секунду (то есть луч этот состоит из радиоволн с совсем низкой энергией). Если гравитация планеты достаточно сильна, Робо-Джефф на вершине утеса будет видеть вспышки с интервалом в две секунды.

Тут все сильно осложняется. Если мы поместим наручные часы доктора Дейва у подножия утеса, то заметим, что за 50 секунд прошло 50 гребней волн. Однако Робо-Джефф на вершине утеса увидит за то же время только 25 гребней.

Как же так?

Единственное объяснение — что для доктора Дейва время течет медленнее, чем для Робо-Джеффа. Только подумайте: Робо-Джеффу покажется, что часы доктора Дейва идут медленнее в два раза, поэтому и доктор Дейв стареет вполовину медленнее. Как и при разговоре о специальной теории относительности, оговоримся, что это не оптическая иллюзия. С точки зрения Робо-Джеффа, доктор Дейв стареет медленнее, его цифровые часы тикают медленнее и сам он движется замедленно.



В целом это правда. Вблизи массивных тел часы идут медленнее, чем вдалеке. Даже на поверхности Земли время идет медленнее, чем в глубоком космосе, но всего лишь на одну миллиардную. Для сравнения: через сто лет часы в глубоком космосе и на Земле будут идти с разницей всего в три секунды. Конечно, вас не удивит, что эффект так незначителен. Если бы разница была заметнее, то ваша физическая интуиция знала бы об этом. Однако, как мы увидим, вблизи горизонта событий черной дыры этот эффект становится значительным. Далёким наблюдателям покажется, что астронавт, который прилег отдохнуть у горизонта событий, движется

бесконечно медленно^[79].

В этой главе мы будем особенно много говорить обо всяких диковинах — о кротовых норах, машинах времени, космических струнах и прочих странностях. С черных дыр мы начали потому, что они почти наверняка существуют в реальности. Мы думаем, что почти что видели их.

Прежде чем рассказать вам о наблюдаемых свидетельствах существования черных дыр, нам, вероятно, следует первым делом развенчать и отместить некоторые распространенные заблуждения.

1. Черные дыры — это не неостановимые адские машины, которыми их пытаются выставить. Например, если бы наше Солнце вдруг превратилось в черную дыру, не произошло бы ничего интересного... ну, не совсем. Мы бы, конечно, погибли, но лишь по той прозаической причине, что замерзли бы без солнечного света. Однако Землю эта новая черная дыра не засосала бы. Даже если размер объекта меняется, с гравитационной точки зрения он функционирует по прежним законам. Гравитация на прежнем расстоянии от него останется прежней, и Земля будет по-прежнему вращаться по своей орбите. Гравитация вдали от черных дыр ведет себя в точности так же, как и гравитация любого другого тела с такой же массой.

2. На самом деле черные дыры не совсем черные. Да, сама черная дыра не видна, но все, что на нее падает, светится, и это видно. В рентгеновских лучах черные дыры выглядят как очень яркие объекты.

В 1974 году Стивен Хокинг выдвинул одну очень интересную теорию. Хотя из черной дыры ничего не излучается, область непосредственно рядом с ней — место очень динамичное. Постоянно возникают и аннигилируют парами частицы и античастицы (например, электроны и их антиподы — позитроны), как мы видели в главе 2. Представьте себе пару частиц — электрон, который возник сразу за горизонтом событий, и позитрон, который возник непосредственно перед ним. Электрона, само собой, никто с тех пор не увидит, а позитрон, вероятно, возник с энергией, которой хватит на то, чтобы смыться. Впоследствии позитрон может выделить энергию (например, путем аннигиляции), которую заметят где-нибудь вдалеке. Конечно, такое может случиться с любой парой, состоящей из частицы и античастицы, в том числе из двух фотонов, которые сами себе античастицы. Вывод таков: черная дыра, предоставленная сама себе, начнет испускать энергию и излучение.

Такое впечатление, что мы получаем что-то из ничего. Откуда взялась дополнительная энергия? Из массы черной дыры. Эта модель «излучения Хокинга», как ее принято называть, предсказывает, что впоследствии все

черные дыры таким образом испарят всю свою массу.

Но мы бы не советовали ждать этого момента, затаив дыхание.

Если начать с черной дыры с массой, равной массе Солнца, времени на испарение уйдет в 10^{57} раз больше возраста Вселенной.

Все, что мы только что сказали, опирается на чистой воды теорию, — на интерпретацию того, что сказал Эйнштейн об общей относительности (плюс еще немного квантовой механики для ровного счёта), и на предсказания по поводу того, на что могли бы быть похожи черные дыры. Тем не менее существуют достаточно веские свидетельства, позволяющие предположить, что черные дыры действительно существуют и бывают самых разных цветов и размеров... ну, или только размеров.

Самые маленькие черные дыры во Вселенной, вероятно, не намного массивнее нашего Солнца. Согласно нашей базовой модели эволюции звезд, звезды полусреднего веса вроде нашего Солнца используют свой водород примерно за 10 миллиардов лет. После чего они раздуваются до красного гиганта, а затем предпринимают вторую попытку — пытаются найти применение своему гелию, после чего Солнце сбрасывает газовую оболочку. Остается лишь тлеющий белый карлик.

Со звездами, которые массивнее Солнца в два-три раза или еще больше, происходит нечто совсем другое. Эти звезды завершают жизнь колоссальным взрывом, который называется «вспышка сверхновой». Большинство из них превращается в очень тугий мячик под названием нейтронная звезда, а избранное меньшинство самых массивных становятся черными дырами. Астрономы наблюдали множество сверхновых, хотя, к счастью, поблизости от Земли таких взрывов не происходило. Это хорошо: слишком близкий взрыв привел бы, мягко говоря, к легкому недомоганию среди большинства населения Земли. Но остатков после взрыва самых массивных звезд мы никогда не видели — мы никогда напрямую не видели черной дыры.

Так почему же мы так уверены в том, что черные дыры действительно существуют? Хотя черных дыр с массой звезды мы не наблюдаем, мы видим признаки «сверхмассивных» черных дыр в центрах крупных галактик, причем самые неопровержимые — именно в нашей Галактике.

В середине 1990-х годов сразу несколько астрономов, в том числе Райнер Шедель из Института Макса Планка и Андреа Гез из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, начали наблюдать движение звезд в центре нашей Галактики. К 2002 году эти наблюдения принесли свои плоды, и плоды весьма примечательные. Астрономы отметили положение звезд менее чем в световом годе от центра (что по

галактическим стандартам очень-очень близко), а затем оказалось, что с каждым годом эти звезды смещаются. То есть они практически наверняка вращались по орбите вокруг чего-то. Чего-то крайне компактного и крайне темного.

В последние несколько лет, когда измерения удавалось проводить все точнее и точнее, а движение звезд прослеживалось в течение все более длинных отрезков времени, становилось все яснее, что объект в центре галактики — это черная дыра массой примерно в 4 миллиона масс Солнца, по нашим стандартам — огромная, однако по сравнению с некоторыми крупнейшими черными дырами — сущий пустяк.

Многие самые отдаленные из известных нам объектов подпитываются сверхмассивными черными дырами. Хотя света черные дыры сами по себе почти не испускают, они источают огромное количество гравитационного притяжения, особенно когда к ним что-то приближается. Когда газ падает все ближе к центральной черной дыре, он ускоряется и начинает выдавать излучение — и очень много. Эти черные дыры, окруженные веществом, излучают колоссальное количество энергии и называются «квазары». Квазары испускают столько света, что их видно почти что из другого конца Вселенной. А в центре у каждого квазара — черная дыра, которая массивнее Солнца в миллиарды раз.

III. Что будет, если упадешь в черную дыру?

Весь этот разговор мы начали с одной простой целью: сделать машину времени. На первый взгляд мы далековато отклонились от темы, но нам надо было сначала поговорить о черных дырах, и в этом есть смысл. Гравитация сворачивает время, а черные дыры — щедрый источник гравитации, поэтому мы, вероятно, можем использовать черные дыры, чтобы путешествовать во времени. Хотя большинство моделей машины времени основаны не на черных дырах, они достаточно просты, чтобы мы интуитивно почувствовали, как работает искажение времени, прежде чем углубиться в гаечки, винтики и космические струны хроноинженерии.

Так что, если мы хотим построить настоящую, практичную машину времени, нам нужно не бояться испачкаться и очертя голову махнуть в одну из таких временных воронок. Для примера подумайте, что будет, если доктор Дейв и Робо-Джефф решат организовать экспедицию на Амнезию — черную дыру массой в 10 масс Солнца — под эгидой Академии злодейских исследований на Юпитере.

Доктор Дейв, самый осмотрительный (и, возможно, умный) в этой парочке, решает остаться на наблюдательном посту в Академии, а Робо-Джефф (который с очевидностью красивее подельника — на грубоватый, разбойничий, но довольно броский лад) облачается в скафандр, оснащенный радиопередатчиком и голубыми габаритными огнями.

Разумеется, из космоса Амнезию не очень-то разглядишь. Если бы был виден горизонт событий (а он, конечно, не виден), он представлял бы собой шар радиусом примерно в 30 километров. А поскольку гравитационное поле черной дыры необычайно сильно, оно искривляет свет, и доктор Дейв и Робо-Джефф видят звезды, которые находятся за Амнезией!

Разумеется, архизлодеи не станут день-деньской сидеть и любоваться Амнезией, и в конце концов Робо-Джефф катапультируется и ныряет в черную дыру. Поначалу он почти ничего не замечает и просто летит — все быстрее и быстрее. К тому времени, когда он отлетит на расстояние примерно в $1,5 \times 10^{11}$ метров (это расстояние от Земли до Солнца, известное также как «астрономическая единица»), он будет падать со скоростью почти 500 тысяч километров в час.

Конечно, это головокружительная скорость, но поскольку он находится в свободном падении, то все это время будет ощущать невесомость.

Чем ближе Робо-Джефф приближается к черной дыре, тем сильнее его

одолевает любопытное ощущение ^[80].

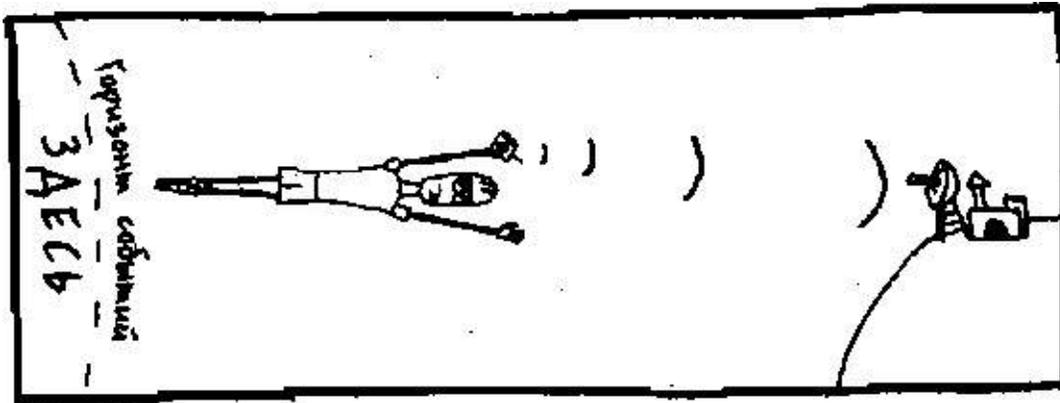
Гравитация действует ему на ноги сильнее, чем на голову. Поначалу это кажется всего лишь слабым перекосом, но к тому времени, как Робо-Джефф оказывается примерно в 6400 километров (радиус Земли) от центра черной дыры, разница в силе тяжести, которая действует ему на голову и на ноги, будет равна всей гравитации на Земле. Как будто Робо-Джефф подвешен за макушку к подъемному крану, а ноги у него болтаются.

Приливная сила неумолимо нарастает, и чем ближе Робо-Джефф оказывается к центру черной дыры, тем сильнее его, бедолагу, вытягивает. Этот процесс астрономы прозвали «спагеттификация». Человеческое тело, если оно принадлежит Робо-Джеффу, а не Пластикмэну или мистериу Фантастику, в таких случаях не столько вытягивается, сколько ломается. Приливные силы наверняка окажутся смертельными, поскольку рекордные перегрузки при высоких ускорениях, которые в силах выдержать человек, составляют в 179 раз больше земной силы тяжести, да и то буквально на секунду (в автокатастрофе). А Робо-Джеффу придется подвергнуться таким же (и даже более сильным) перегрузкам постоянно — стоит ему лишь достигнуть 1150 километров от центра Амнезии.

Когда он приблизится к центру на 550 километров, разница в силе тяжести, действующей на ноги и на голову, станет примерно в 1500 раз больше, чем земная гравитация, — этого с избытком хватит, чтобы буквально разорвать человеческие кости.

Сами видите, путешествие во времени не назовешь увеселительной прогулкой.

Представим себе, что Робо-Джефф в детстве был пай-мальчиком и кушал много манной каши, и поэтому его кости и кибернетические суставы способны выдержать чудовищные нагрузки. Даже с этой натяжкой (простите за дурацкий каламбур) он обнаруживает, что ракетный ускоритель, который должен был вытащить его из гравитационного поля Амнезии, не запускается. Когда до центра остается всего 65 километров, Робо-Джефф начинает паниковать (сдержанно и мужественно, в стиле «где наша не пропадала») и посылает доктору Дейву в Академию злодейских исследований сигнал SOS. Однако поскольку фотоны из радиопередатчика Робо-Джеффа теряют энергию, когда движутся от центра черной дыры, доктору Дейву приходится настроить приемник на гораздо более, низкую частоту, чтобы услышать, как Робо-Джефф зовет на помощь.



Слушая свое обычное радио в диапазоне FM (от 88 до 108 мегагерц), доктор Дейв обнаруживает, что хотя Робо-Джефф передает сигнал на частоте 108 мегагерц, как они и договаривались, слышно его лишь в нижней части частотного диапазона. Именно об этом феномене мы и говорили — фотоны, которые Робо-Джефф посылает в виде радиосигнала, потеряли энергию, и поэтому кажется, что частота радиосигнала ниже. Когда доктору Дейву удастся наконец поймать сигнал, голос Джеффа кажется ему медленным и низким — как будто слушаешь пластинку на низкой скорости или Аманду Лир на нормальной.

Робо-Джефф падает дальше, и связь пропадает.

Хотя нормальный ракетный ускоритель парочка поставить забыла, архизлодеи все же додумались оснастить скафандр Робо-Джеффа упомянутыми голубыми огоньками. Они светят уже не голубым светом, а зеленоватым, затем желтоватым, а затем красным, после чего становятся невидимы невооруженным глазом. После этого доктор Дейв может наблюдать Робо-Джеффа только через инфракрасный детектор.

Примерно в 30 километрах от центра черной дыры проходит горизонт событий, и с течением времени доктор Дейв замечает, что хотя Робо-Джефф приближается все ближе к границе, откуда нет возврата, он никак не может ее пересечь. Все время кажется, что Робо-Джефф находится снаружи от черной дыры. Однако огоньки на его скафандре в конце концов уходят в инфракрасный спектр настолько, что детектор доктора Дейва их уже не видит.

С другой стороны, с точки зрения Робо-Джеффа, все, наоборот, ускоряется, и сигналы из Академии злодейских исследований доходят до него на высоких частотах. Что же происходит в тот момент, когда он пересекает горизонт событий?

Если не считать того, что Робо-Джеффа, скорее всего, давно нет в

живых и теперь ему уже не вернуться, он ничего особенного не заметит. Он будет просто неумолимо падать к «сингулярности». Разумеется, оказавшись по скверную сторону от горизонта событий, он уже не может больше отправлять фотоны, а поэтому не остается никакого сценария, кроме одного — его порвет в клочки. Пусть утешается тем, что с того момента, как ему станет неприятно (когда приливные силы составят около $10 g$, то есть в 10 раз больше земной гравитации), до полного разрушения пройдет около одной десятой секунды.

Однако все научные данные свидетельствуют, что это его не утешит.

IV. А можно вернуться во времени назад и купить акции «Майкрософт»?

Как мы только что увидели, гравитационное поле вокруг черных дыр сильнейшим образом искажает и свертывает пространство, а главное (для наших злодейских замыслов) — время. Остается под вопросом, сумеют ли доктор Дейв с Робо-Джеффом при помощи общей теории относительности создать величайшую жемчужину чокнутой науки — машину времени. Прежде чем мы начнем разговор о том, как сделать машину времени, следует высказать несколько соображений по поводу того, что же такое хорошая машина времени.

Когда мы были маленькие, то любили играть с большими картонными коробками, а иногда писали на них большими буквами «Машина времени» [\[81\]](#).

Вообще говоря, это и была машина времени. Ведь тот, кто сидел в коробке, путешествовал во времени со скоростью одна секунда в секунду. Вы, наверное, надеетесь получить устройство с более гибкими настройками.

Просите, и дастся вам; в наших силах сделать машину и получше. Героический пример Робо-Джеффа показал нам, что, когда стоишь у самой черной дыры или белого карлика, личные часы замедляются, а значит, можно путешествовать во времени со скоростью быстрее одной секунды в секунду. Наш злодейский дуэт вполне способен создать на этой основе приемлемую машину времени для путешествия в будущее. Например, построить звездолет, который зависнет у самого горизонта событий в черной дыре, некоторое время там повисит, а потом вернется — в далекое будущее.

Однако это будет путешествие в один конец — поскольку вернуться в свое время архизлодеи не смогут. Нам же больше всего хочется отправить их в прошлое — а в идеальном случае позволить изменить это прошлое в соответствии с их черными замыслами.

Каковы же перспективы для путешествия в прошлое? Как мы видели в главе 1, мы вполне можем заглянуть в прошлое. Когда на что-то смотришь, то видишь его таким, каким оно было некоторое время назад.

Конечно, вы вправе представлять себе что-то более конкретное. Например, представьте себе, что вы хотите стать свидетелями некоего события — Крымской войны, скажем, или посадки «Аполлона» на Луне. В

принципе, на первый взгляд это несложно. В случае с высадкой на Луну все, что вам нужно, — это припарковать звездолет с ультрамощным телескопом в 40 световых годах от Луны^[82].

Единственная сложность: чтобы улететь на 40 световых лет от Луны, потребуется как минимум 40 лет, поскольку нельзя лететь со скоростью больше скорости света. Так что, хотя мы способны заглянуть в будущее, мы не можем заглянуть в нашу историю, поскольку не можем перегнать свет, не жульничая с помощью гравитации.

А не выручит ли нас, например, зеркало? Если бы в момент высадки на Луну в 20 световых годах отсюда уже стояло зеркало, мы, в принципе, могли бы как раз сейчас получить отсюда отражение. К сожалению, нам должно было бы крупно повезти, чтобы зеркало уже стояло наготове. Да и картинка получилась бы малюсенькая-премалюсенькая.

Итак, даже заглянуть в прошлое, как выяснилось, проблематично, а между тем для большинства из нас машина времени ассоциируется с возможностью не просто заглянуть в прошлое, но и действовать в нем и даже менять его. Как минимум мы должны быть способны вернуться в прошлое и пожать руку самому себе.

Специалисты по общей теории относительности называют сценарии, в которых вы можете познакомиться с самим собой (или, в принципе, со своими предками), «замкнутыми времениподобными кривыми». Как мы увидим совсем скоро, существуют проекты-кандидаты на роль машины времени, которые вполне соответствуют теории относительности. И они вполне могут предоставить вам шанс познакомиться с самим собой в юности.

Но прежде всего мы должны установить несколько основных законов.

Мы полностью отдаем себе отчет в том, что на данном этапе беседы мы выходим за пределы того, что принято называть физикой, и углубляемся в область философии. И в этом нет ничего плохого. И в художественной литературе, и в научной философии, по всей видимости, имеются две основные картины возможного путешествия во времени.

1. Альтернативная реальность / альтернативные вселенные.

Одна из самых очевидных трудностей, связанных с путешествием во времени, заключается в том, что оно вроде бы позволяет вам изрядно

напортачить в прошлом. Например, представьте себе, что вам пришла в голову отменно дурацкая идея, скажем, убить собственного дедушку до того, как будет зачат ваш отец^[83].

Сможете ли вы это сделать? Что произойдет с вами впоследствии? Какое будущее вы обнаружите, когда вернетесь в настоящий момент?

Убив собственного дедушку, вы сами не сможете существовать, а значит, во-первых, у вас не получится вернуться в прошлое, а значит, некому будет убить вашего дедушку ну и так далее.

Как же разрешить этот «парадокс дедушки»?

Что будет, если так разительно изменить прошлое, нам, вероятно, расскажет квантовая механика. В главе 2 мы обсуждали интерпретацию квантовой механики Хью Эверетта и «возможные миры», в которых каждое квантовое событие порождает параллельные вселенные. Как мы видели, на микроскопическом уровне Вселенная случайна — случайна по сути своей, и никакие знания не в силах предсказать, например, распадется радиоактивный атом за данный период времени или не распадется или куда окажется направлен спин у данного электрона — вверх или вниз. Если бы мы пересмотрели кино Вселенной, как бы все было — так же или иначе? У нас нет никакой возможности это проверить.

Кажется, будто мелочи вроде спина электрона большой роли не играют, но за очень длительное время мелкие события способны изменить очень и очень многое. Вспомните старинный стишок, который приписывают Бенджамину Франклину:

Не было гвоздя — подкова пропала.
Не было подковы — лошадь захромала.
Лошадь захромала — командир убит,
Конница разбита, армия бежит.
Враг вступает в город, пленных не щадя...
Оттого что в кузнице не было гвоздя.

(Пер. С. Маршака)

Это концептуальная версия математической теории под названием «хаос». Практически для любой системы (и история человечества не исключение) справедливо, что даже небольшое изменение на самом старте приводит к колоссальным изменениям в финале. Вероятно, вам этот закон известен также как «эффект бабочки»^[84], согласно которому даже такое

крошечное событие, как взмах крылышек бабочки, способно изменить погоду через несколько месяцев на другом краю Земли.

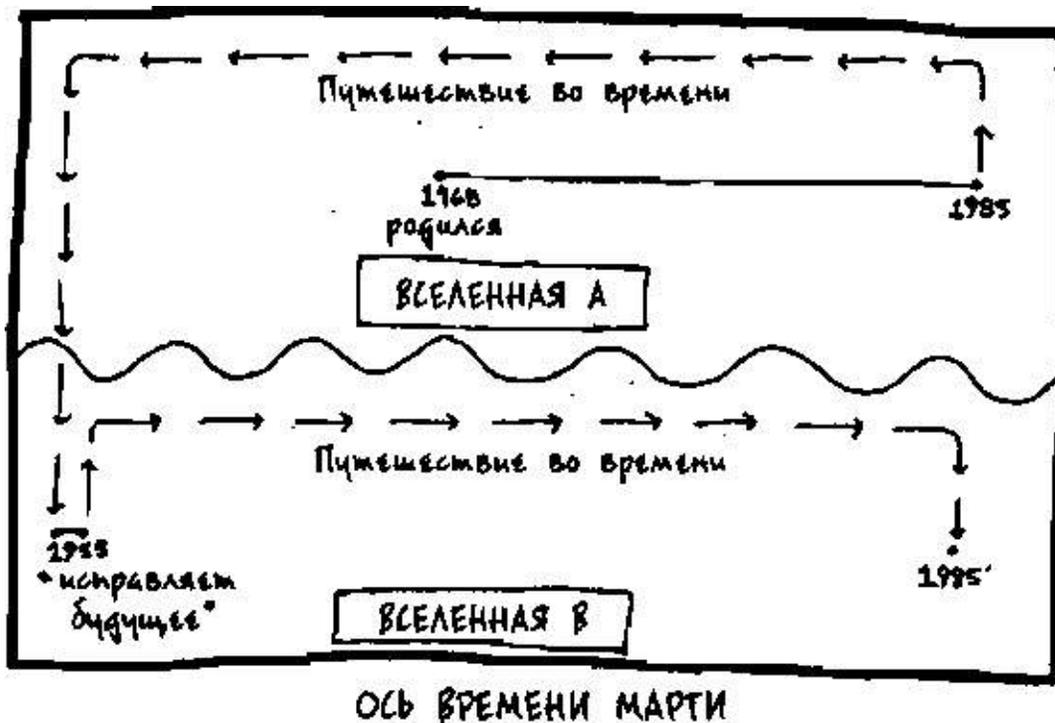
Главное, даже если параллельные вселенные на старте практически идентичны, уже довольно скоро история в них идет по совершенно разным путям.

Та же картина — вселенные, ответвляющиеся друг от друга, — может послужить основой для путешествий во времени. Давайте посмотрим, как это разрешает «парадокс дедушки». Представьте себе, что вы путешественник во времени, живущий во вселенной **A**, и вы вбили себе в голову, что должны порушить вселенную, да не просто так, а как можно зрелищнее. Вы создаете машину времени, возвращаетесь в прошлое и убиваете там своего дедушку. Поскольку в истории вселенной **A** такое событие попросту невозможно, убийство должно произойти в другой вселенной — **B**. Если мы затем вернемся в настоящее, то, вероятно, обнаружим самого себя как он был, с теми же воспоминаниями, — только не в нашей прежней вселенной, а во вселенной **B**. И конечно, во вселенной **B** будет лишь один экземпляр нас (версия **A**). Второй так и не родится.

Улавливаете логику?

Модель множественных миров — основа сюжета «Назад в будущее». Это классика мирового кинематографа, так что вы, вероятно, видели этот фильм. Подросток по имени Марти возвращается в прошлое на 30 лет, непреднамеренно вмешивается в ухаживание своих родителей, а остаток фильма лихорадочно пытается загладить свои ошибки и навести порядок в своем настоящем.

Само собой, у него все получается. Но когда он возвращается в свое время, оказывается, что история мира радикально изменилась. Согласно картине возможных миров, Марти-**A** исчез из вселенной **A** и отправился в прошлое. Изменив будущее, он поспособствовал ответвлению вселенной **B** и вернулся в будущее вселенной **B**. Между тем Марти-**B**, предположительно, исчез в прошлое, изменил ход времени и вернулся во вселенную **C** — и так далее.



В принципе, если бы Марти-А изменил вселенную в достаточной степени, Док Браун-В (изобретатель машины времени) не изобрел бы путешествия во времени. В 1985 году Марти-В застрял бы во вселенной **В**, не имея возможности отправиться в прошлое. Когда Марти-А вернулся в настоящее, он вернулся бы во вселенную **В**, и там оказалось бы два Марти. А во вселенной **А** Марти исчез бы и не вернулся.

В модели множественных миров всегда нужно думать о том, как твои действия в прошлом влияют на будущее, даже если вам каким-то образом удалось воздержаться от убийства своих предков или других поступков, которые явно способны радикально испортить историю человечества. Даже мельчайшее бессознательное действие способно рерандомизировать все события в прошлом (проще говоря, запустить их по другому случайному сценарию).

В общем, «эффект бабочки» дает нам гарантию, что нет никакого сценария путешествия во времени, в котором можно изменить прошлое, не создав параллельных вселенных. Однако для нас все это всего лишь жульничество. Наблюдатель, который сидит себе в своей вселенной и никуда во времени не путешествует, увидит, как у людей появляются двойники, погибают и воскресают дедушки, а путешественники во времени возникают и исчезают. Это очень раздражает, не так ли?

2. Вселенная самосогласованна.

Физику от магии отличает одна подробность: физика делает предсказания относительно Вселенной, которые можно проверить. До сих пор нет никаких экспериментальных данных (и никаких обоснованных предположений, как их получить), которые бы свидетельствовали бы о том, что наша Вселенная не одна. Если же Вселенная одна, то и версия ее истории тоже одна.

В середине 1980-х годов Игорь Новиков из Московского университета разработал теорию квантовой механики и путешествий во времени, согласно которой вероятность несамосогласованной истории тождественно равна нулю.

Поэтому реалистичный сценарий путешествия во времени будет выглядеть примерно так. Когда вам исполняется 18 лет, более старая версия вас возвращается к вам во времени и дает вам общие инструкции, как сделать машину времени. Осознав свое великое предназначение, вы посвящаете следующие 10 лет созданию машины времени, а затем возвращаетесь на 10 лет назад и даете самому себе те же инструкции.

Но есть дилемма. А если вы в прошлом совершите попытку самоубийства? Или не станете давать себе инструкции по созданию машины времени? Возможно ли, в конце концов, что вы и вовсе совершите нечто такое, что лишит вас стимула делать машину времени?

Путешествие во времени предоставляет нам два неприятных варианта. Если вы сторонник модели путешествия во времени согласно теории множественных миров, тогда нарушается теория Новикова. С другой стороны, по модели самосогласованной Вселенной путешественник во времени, очевидно, не имеет свободы воли.

Мы (то есть физическое сообщество) не располагаем сколько-нибудь удовлетворительным ответом на эту головоломку. Мы просто предполагаем, что физические законы требуют сохранения самосогласованности при любом способе путешествовать во времени^[85].

Самосогласованные вселенные гораздо менее удобны — и с точки зрения писателей, и с точки зрения реальности. Ну, скажем, прежде всего стоит задаться вопросом, зачем вообще путешествовать в прошлое. У вас не возникнет никаких мотивов, чтобы это делать, поскольку возвращение в прошлое ничего не исправит. С другой стороны, если вам нравится хронотуризм, вам, возможно, ничто не мешает понаблюдать падение

Рима или первые Олимпийские игры. Разумеется, какой-нибудь бдительный наблюдатель уже видел вас среди публики.

Будем отталкиваться от того, что «правильное» путешествие во времени обязательно предполагает модель самосогласованной истории. С одной стороны, гораздо труднее создать увлекательную самосогласованную историю, предполагающую путешествия во времени, и мы чувствуем, что за удачные попытки такого рода следует награждать. С другой стороны, поскольку нет никаких свидетельств существования параллельных вселенных, для путешествия во времени версия единственной истории — единственная, которая более или менее соответствует тому, что мы знаем о физике. По большей части истории про параллельные вселенные нам как-то не нравятся, потому что даже если даже в одной вселенной что-то и «срослось», в другой оно по-прежнему сломано. Хорошо, если ты все исправил на своей оси времени, но это означает, что бесконечное множество других вселенных обречены на хаос и кошмар, и стоит ли идти на подобный риск?

V. Так кто же путешествует во времени правильно?

Как с этим обстоят дела в масскультуре? Книги в общем и целом прекрасно справляются с тем, чтобы все оставалось самосогласованным. Некоторые литературные произведения вроде классической «Машины времени» вообще избегают самосогласованности — повествование в них разворачивается в таком далеком будущем, что совершенно ясно: сам путешественник во времени ничего в нем изменить не мог, даже если бы хотел. Некоторые вроде «Автостопом по галактике» Дугласа Адамса настолько очевидно принадлежат к литературе абсурда, что их вообще не стоит воспринимать как истории о путешествиях во времени.

В кино и на телевидении, что характерно, дела обстоят гораздо хуже. Большинство (в числе самых очевидных примеров — и «Назад в будущее», и телешоу «Герои») исходят из того, что будущее еще не предрешено. Чушь! Конечно, предрешено, раз вы там уже побывали! Ваш главный стимул что-то предпринять в настоящем (или прошлом) определяется тем, что вы видели, какое будущее нас ждет!

Поскольку мы фанаты научной фантастики (как и обычной науки), мы не можем удержаться от того, чтобы высматривать ошибки во всех фильмах и телепередачах, где сюжет основан на путешествии во времени. Однако иногда случается, что ошибок этих нет. Именно поэтому Робо-Джефф любезно составил «Хит-парад путешествий во времени» (неполный), который вы найдете в конце этой главы. Между тем нам пора заняться разбором нескольких конкретных примеров. Тех, кто умудрился не смотреть кино и телевизор последние 30 лет, предупреждаем, что испортим им все удовольствие от дальнейшего просмотра, потому что расскажем все сюжеты.

«Футурама», сезон 4, эпизод 1.

«Розвелл — это то, что хорошо кончается» (2001)

Через тысячу лет технология заметно продвинется вперед по сравнению с сегодняшним днем и люди смогут путешествовать в прошлое

(непредсказуемо, однако эффективно): для этого надо поставить в микроволновку металлический предмет и при этом наблюдать взрыв сверхновой. Герои «Футурамы», в том числе Филипп Фрай, развозчик пиццы, которого заморозили на тысячу лет, и Бендер, робот с асоциальными наклонностями, путешествуют из 3001 года в 1947-й, в город Розвелл, штат Нью-Мексико. Когда они приземляются, а точнее, терпят крушение, голова Бендера отваливается от тела, и Фрай берет себе голову. Между тем тело Бендера принимают за летучую тарелку — за тот самый НЛО, о приземлении которого якобы умалчивало правительство США.

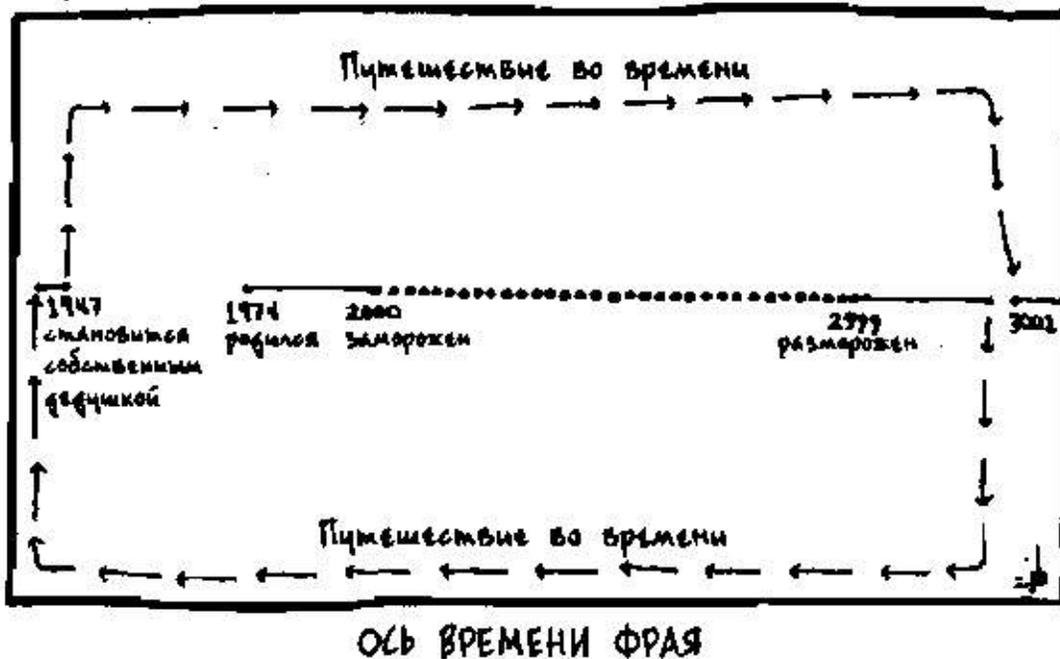
Фрай обнаруживает, что на местной военной базе находится его дедушка, и случайно убивает его. Утешая бабушку, Фрай делает вывод, что раз он до сих пор жив, значит, его бабушка ему не бабушка!

Наутро Фрай приходит к другому, еще более жуткому выводу: эта женщина — действительно его бабушка, а он, сам того не зная, стал сам себе дедушкой^[86].

Поскольку вмешательство в самосогласованную временную петлю невозможно, лучше сказать иначе: он всегда был сам себе дедушкой и всего лишь выполнил свои обязанности на оси времени. Однако его аморального поступка это не извиняет.

Когда герои убегают из Розвелла, голова Бендера выпадает из звездолета, и команда вынуждена бежать в свое время, в XXXI век, без нее. Фрай понимает, что она, должно быть, до сих пор лежит в пустыне (и так оно и оказалось), и команда выкапывает ее и присоединяет к телу Бендера.

Путешествие во времени



Из этого случая следуют, если вдуматься, поразительные выводы: Фрай — сам себе предок, а голова у Бендера на 1049 лет старше тела. Хотя это совершеннейшие пустяки, нет никаких научно обоснованных причин, по которым это не может быть правдой.

«Терминатор» (1985)^[87]

Среди самых ярких и долгожданных событий будущего — ядерная катастрофа, спровоцированная роботами, фестиваль обугленных скелетов и сверкающих металлических шасси, на котором киборги с ручными пулеметами разнесут в клочья все живое благодаря военному компьютеру Скайнету, свихнувшемуся разумному аналогу нынешнего Интернета.

Полный восторг!

В особенности мы предвкушаем неизбежное полуреалистичное путешествие во времени. В будущем Джон Коннор возглавит восстание против воинства злобных кровожадных роботов. Джон отправит в прошлое (в наше настоящее, то есть уже прошлое — в 1984 год) своего солдата Кайла, который должен защитить его мать Сару Коннор, поскольку Скайнет

послал туда своего агента, робота-убийцу^[88], чтобы убить ее и не допустить рождения Джона.

Кайл, по фотографии находит Сару Коннор и изо всех сил старается защитить ее. Он влюбляется в Сару, и они зачинают ребенка — из которого вырастет Джон Коннор, предводитель восстания против роботов.

Кайл и Сара не только устраняют угрозу со стороны роботов и спасают жизнь Саре (и Джону), — Сара еще и фотографируется, чтобы впоследствии эту фотографию передали Кайлу, который снова влюбится в нее. Временная петля самосогласованна, и если бы Скайнет хотя бы ненадолго задумался над этой головоломкой, он бы сообразил, что если Джон Коннор в будущем жив, значит, в прошлом его не убили и затея была изначально обречена на провал.

Разумеется, если бы Скайнет сообразил, что вся его затея обречена на провал, он не послал бы Терминатора в прошлое, Кайл не отправился бы в прошлое следом за роботом, и Джон бы не родился. Оп-па!

Означает ли это, что человечеству придется когда-нибудь в будущем биться не на жизнь, а на смерть с мятежными роботами, возглавляемыми суперкомпьютерной сетью, которая не имеет представления о самосогласованных временных петлях? Мы полагаем, что да.

VI. Так как же сделать действующую машину времени?

Мы уже говорили, что общая теория относительности позволяет вытворять с потоком времени презабавные штуки, и даже установили несколько основных правил, которые регулируют, что машина времени может делать, а что не может. Вероятно, вам будет интересно узнать, что существуют самые настоящие физики, которые публикуют самые настоящие статьи о том, можно или нельзя сделать машину времени [\[89\]](#).

Установив основные правила, мы наконец подходим к главному вопросу — как создать машину времени, которая не противоречит никаким нашим знаниям о физике?

Кротовые норы

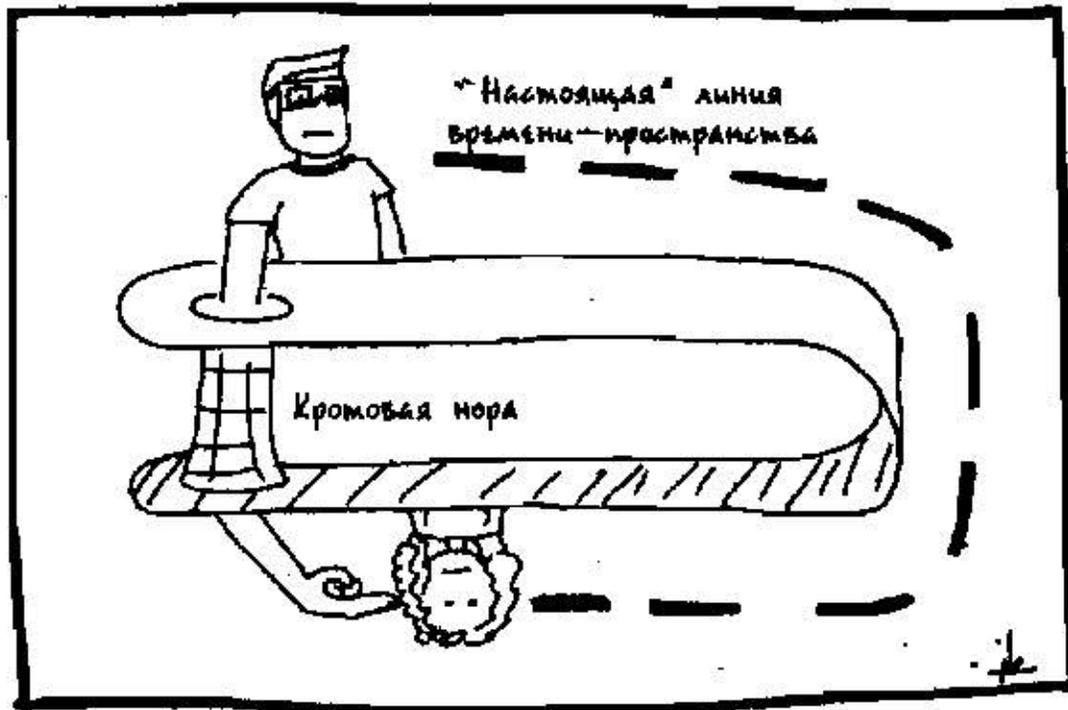
Общая теория относительности показывает, что массивные тела вроде Солнца или черной дыры сворачивают пространство и время. Однако сворачивание пространства — явление локального масштаба. Мы имеем в виду примерно следующее: если взять плоский лист бумаги (плоский, то есть не свернутый) и свернуть его в трубку, крошечный муравей, ползущий по его поверхности, не поймет, свернут лист или нет.

В принципе, мы могли бы опереться на тот факт, что для того, чтобы сделать машину времени, пространство можно «сложить». Этот факт — основа идеи «кротовых нор», которая долгие годы служила фантастам верой и правдой. Кротовая нора — теоретическое решение уравнений Эйнштейна из области общей теории относительности, в которых пространство настолько искажается, что создается путь, соединяющий две потенциально далекие области пространства.

Издавека кротовая нора похожа на черную дыру. Если бы мы на нее посмотрели, то увидели бы сферу, сквозь которую видно другое устье кротовой норы. Однако если приблизиться к кротовой норе, то, в отличие от черной дыры, гравитация не усиливается, и человек или звездолет может пролететь ее насквозь целым и невредимым.

У нас есть серьезные косвенные свидетельства существования черных

дыр, но нет ни прямых, ни косвенных свидетельств существования кротовых нор, и, что бы ни думал и на что бы ни уповал Артур Кларк, есть подозрение, что они если и существуют, то исключительно на микроскопических масштабах. Общая теория относительности говорит нам только о том, что их существование не невероятно.



КАК ФИЗИК ЖУЛЬНИЧАЕТ В ИГРЕ В ПЯТНАШКИ

Главный сюжет — можно нырнуть в один конец кротовой норы и вынырнуть из другого, далеко-далеко. Более того, можно организовать это так, что будешь перемещаться быстрее света. На минуту забудем о том, насколько на самом деле это трудно, и укажем на некоторые очевидные детали. Хотя кажется, что кротовые норы — это отличные устройства для телепортации, не так очевидно, что их можно использовать и как машины времени. Однако это вполне реально — вот, например, Кипу Торну из Калифорнийского технологического университета это под силу. В своей книге «Черные дыры и свертывание времени» (*Kip Thorne, Black Holes and Time Warps*) он описывает машину времени, основанную на кротовой норе, идею которой он предложил в 1988 году вместе с двумя своими учениками — Майклом Мори и Ульви Юртсевером.

Чтобы сделать из поразительного устройства для телепортации суперпоразительную машину времени, надо сначала понять, что длина

внутренней части кротовой норы никак не соотносится с тем, насколько далеко вы по ней перемещаетесь. Если бы вам нужно было пройти по кротовой норе, вы бы вышли из нее (с вашей точки зрения) очень скоро.

Поясним на конкретном примере. Мы уже познакомили вас с благоразумным (и консервативным) доктором Дейвом и склонным к авантюрам (и бесшабашным) Робо-Джеффом и рассказали об их приключениях при исследовании черных дыр. Так вот, они снова взялись за свое — но на сей раз им удалось построить себе компактную кротовую норку, достаточно большую, чтобы сквозь нее пролез человек, но достаточно маленькую, чтобы поместить одно из ее устьев внутрь звездолета, что они и сделали. С точки зрения человека, который путешествовал по этой норе, она была длиной всего три метра, а значит, если доктор Дейв заглядывал в одно из ее устьев (которое было удобно расположено в его гостиной в нише, где раньше стоял телевизор), он видел интерьер звездолета Робо-Джеффа.

Робо-Джефф берет свой звездолет вместе с кротовой норой и 1 января 3000 года улетает со скоростью 99 % скорости света. Он улетает примерно на семь световых лет от Земли, а затем возвращается — 1 января 3014 года. Если эти цифры вам уже знакомы, ничего удивительного. Мы позаимствовали их из примера про парадокс близнецов, о котором говорили в главе 1.

Вероятно, вы также вспомните, что с точки зрения Робо-Джеффа прошло только два года. Вот тут и начинаются странности. Доктор Дейв с Робо-Джеффом видят друг друга через кротовую нору. Интерьер черной дыры не знает, что кто-то движется. Так что если доктор Дейв посвящает ближайшие два года своей жизни тому, что наблюдает Робо-Джеффа через кротовую нору, он будет абсолютно уверен, что в 3002 году выйдет в сад и обнаружит там улыбающегося Робо-Джеффа.

А следующие 12 лет он будет разочарованно и мрачно глядеть в небеса, пока Робо-Джефф не вернется на Землю со вторым устьем кротовой норы в звездолете.

Рассмотрим вот что. Если доктор Дейв посмотрит в 3002 году в кротовую нору в своей гостиной, он увидит, как Робо-Джефф приземлится на Землю в 3014-м. Он буквально увидит будущее. Но и это еще не все. Он способен посетить будущее — или, если уж на то пошло, Робо-Джефф способен побывать в прошлом. И кто угодно способен. Такая кротовая нора становится способом отправиться на 12 лет в прошлое, а также пройти пренебрежимо малое расстояние из гостиной доктора Дейва в его сад.

Но не забудьте, что хотя машина времени позволит вам

путешествовать в прошлое, вы не сможете делать в прошлом все, что захотите, по причинам, которые мы уже обсудили. Ведь прошлое уже произошло.

Есть и другое серьезное ограничение. Нельзя вернуться в то время, когда машину времени еще не создали. Это поможет получить ответ на другой большой вопрос, который, вероятно, уже приходил вам в голову: где же хронотуристы? Почему мы их до сих пор не видели? Да потому, что еще не создали машину времени!

Такое устройство создает и некоторые другие сложности. Например, очень трудно держать кротовую нору открытой, поскольку она имеет естественную тенденцию сплющивать любую материю или энергию, которые попадают к ней внутрь (так как стенки кротовой норы притягивает друг к другу гравитация). Кротовая нора может схлопнуться, не успеем мы найти ей практическое применение. Торн предположил, что следует держать ее открытой при помощи некоей «экзотической материи», имеющей отрицательную плотность энергии. По всей видимости, при обычных обстоятельствах экзотической материи во Вселенной явно в обрез, если она вообще есть, но те же самые поля, которые заставляют черные дыры излучать, обладают именно теми качествами, которые нам так необходимы.

Не исключено, что и этого недостаточно. Одна из трудностей, возникающих в связи с моделью черных дыр, заключается в том, что она объединяет две области физики, которые мы пока что не сумели привести в соответствие, — квантовую механику и общую теорию относительности.

Вердикт: вероятно, кротовые норы годятся на роль машин времени, но остался суший пустяк — создать кротовую нору. Возможно, они существуют на микроскопическом уровне, а возможно, и нет, но пока что нет никаких свидетельств, что во Вселенной имеются кротовые норы диаметром со звездолет, и мы абсолютно не представляем себе, как их создать. А если даже мы их сделаем, есть все основания полагать, что кротовая нора сомкнется прежде, чем вы сквозь нее пролетите.

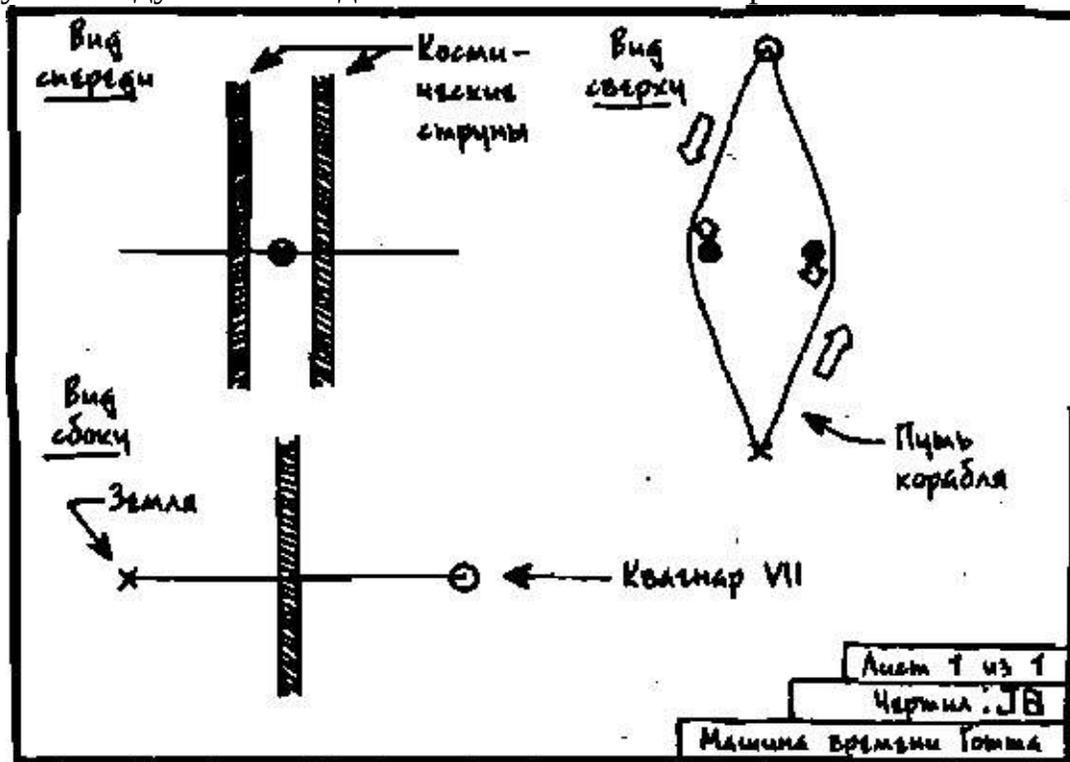
Космические струны

Космические струны почти не связаны (или совсем не связаны) со струнами из теории струн — если не считать того, что они тоже основаны

на аналогии с обычной туго натянутой веревочкой, с которой так любят играть котята. Эти струны очень плотные и либо бесконечно длинные, либо свернуты в петлю. Можете представить себе, какие сильные гравитационные поля они создают, а следовательно, с какой силой свертывают пространство.

В 1991 году Ричард Готт из Принстонского университета разработал модель машины времени, основанную на космических струнах, и великолепно описал эту модель в своей работе «Путешествие во времени в эйнштейновской вселенной» (*Richard Gott, Time Travel in Einstein's Universe*).

Согласно общей теории относительности, то, что кратчайший путь между двумя точками — это прямая, не всегда справедливо. Мы можем опереться на этот факт, чтобы проделывать различные занятные фокусы, в том числе путешествовать «быстрее света». К примеру, представьте себе, что у нас есть две космические струны, которые проходят параллельно на полпути между Землей и далекой планетой Квагнар VII.



Робо-Джефф решает, что желает как можно скорее оказаться на планете Квагнар VII. Поскольку пространство и время свертываются вокруг космических струн, получается, что быстрее обогнуть струну, а не лететь между струнами. Если выстрелить лазером между струн в тот самый миг, когда Робо-Джефф стартует с Земли, его звездолет может и обогнуть

луч света, хотя способен разогнаться лишь до 99,9999 % скорости света.

Последний пункт очень важен, поскольку световые лучи — это альфа и омега относительности. Представьте себе, что будет, если маленький братишка Робо-Джеффа Робо-Дэн отправится с Земли на Квагнар VII на очень большой скорости, но лететь он будет между струн. Он с изумлением и досадой обнаружит, что Робо-Джефф прибудет на Квагнар VII раньше луча света. Более того, с его точки зрения, на самом деле возможно» что Робо-Джефф прибудет даже раньше, чем он (а значит, и луч света) стартует с Земли. Мы предполагаем, что это своего рода путешествие во времени — но от этого рода нам маловато пользы. Даже хотя Робо-Дэн говорит, что Робо-Джефф прибыл на Квагнар VII до того, как стартовал с Земли, ему в этом нет никакого проку. Например, Робо-Джефф не может вернуться обратно и пожать руку самому себе в прошлом, потому что к тому моменту, когда он вернется, пройдет много времени с тех пор, как он стартовал. Улавливаете?

Мы можем превратить наши космические струны в практичную машину времени, если заставим их двигаться со скоростью, близкой к скорости света. Чтобы несколько все упростить, представьте себе, что струна справа движется к Земле, а струна слева — к Квагнару VII, причем обе — с одной и той же очень высокой скоростью.

Продедаем тот же фокус, что и в разговоре о машине времени, основанной на кротовой норе. Доктор Дейв сидит посередине между двумя космическими струнами, а поскольку он не двигается, его часы идут с той же скоростью, что и часы наблюдателя на Земле.

Тут начинается самое интересное. Робо-Джефф вылетает с Земли и облетает струны против часовой стрелки. Мы уже обнаружили, что, с точки зрения наблюдателя, который пролетает между струн, Робо-Джефф прибывает раньше, чем стартовал. После чего немедленно стартует обратно.

Дальше — лучше. На обратном пути доктор Дейв видит в точности то же самое с той лишь разницей, что Робо-Джефф пролетает вокруг левой струны. И снова, с точки зрения доктора, Робо-Джефф прилетел раньше, чем улетел с Квагнара VII, а это произошло, в свою очередь, до того, как он улетел с Земли.

Повторяем: Робо-Джефф прибывает обратно на Землю до того, как улетел с нее, — с точки зрения и доктора Дейва, и, главное, населения Земли. В этом сценарии он сумеет вернуться в прошлое, пожать руку самому себе до старта на Квагнар VII и изменить историю настолько, насколько это позволят законы путешествий во времени.

Разумеется, есть несколько важных предостережений. Как и в случае машины времени, основанной на кротовой норе, нельзя отправиться в прошлое до того, как машина времени будет изобретена и создана.

Кроме того, есть одна важная физическая оговорка. Нет никаких наблюдаемых свидетельств того, что космические струны существуют на самом деле, а если они не существуют, создать их будет трудно (если вообще удастся). Во-первых, данный конкретный дизайн требует космических струн бесконечной длины, и на создание такой струны уйдет бесконечно много времени. А во-вторых, существует вполне реальная проблема — как разогнать гигантские струны почти до скорости света.

Наш вердикт: манипуляции с космическими струнами, вероятно, возможны для крайне развитых цивилизаций, но только в том случае, если космические струны уже существуют.

VII. Так каковы же мои шансы изменить прошлое?

Послушайте, в конце концов, я могу создать машину времени или нет?!

Вы? Едва ли.

Возможно ли это физически для суперцивилизации? Вероятно, но это сильно зависит от существования всякой всячины вроде кротовых нор, космических струн и экзотической материи, а также от наличия технологии, позволяющей обуздывать колоссальную энергию и манипулировать ей.

Однако есть и несколько весьма реальных ограничений. Каждая практическая модель машины времени, основанная на общей теории относительности, имеет два встроенных механизма безопасности. Первый — машины времени позволят вам посещать только периоды после того, как они были изобретены. Второй и, вероятно, главный — все они должны соответствовать теореме Новикова о том, что у Вселенной есть лишь одна история.

В ответ на машину времени на кротовых норах, которую предложил Торн, Джо Полчински из Техасского университета поднял вопрос о том, нельзя ли поставить опыт, который был бы эквивалентом «парадокса дедушки», но с бильярдными шарами. Чтобы проделать этот эксперимент, мы создаем временную разницу не в 12 лет, а всего в 3–4 секунды.

Представьте себе, что вы берете кий и отправляете бильярдный шар в одно из устьев вашей машины времени, основанной на кротовой норе. Если это «позднее» устье, то за некоторое время до того, как вы нанесете удар (хотя потенциально *после* того, как вы ударили по мячу) из «раннего» устья вылетит второй мяч.

Считайте это вариантом мини-гольфа, когда вы загоняете мяч в лунку на вершине холма, а он вылетает из водосточной трубы у подножия, — только в данном случае вы умудряетесь организовать все так, что мяч вылетает из второй дырки раньше, чем вы загоняете его в первую.

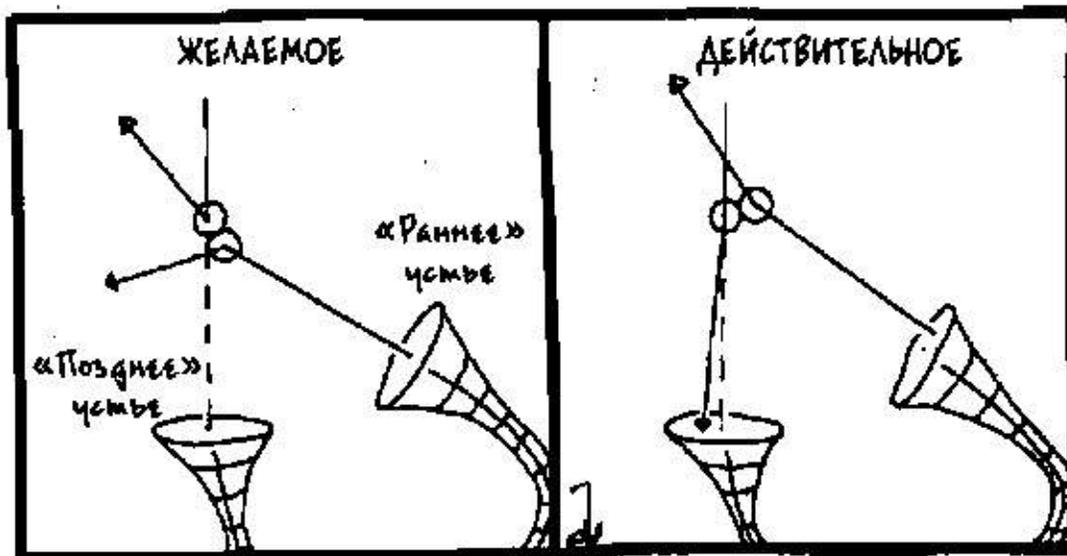
Вероятно, умелый бильярдист сумел бы загнать бильярдный шар в первую лузу, то есть в первое устье кротовой, норы, так, что он вылетит из второй («ранней») как раз в тот момент, чтобы столкнуться с шаром, посланным в результате первоначального удара, и сбить его с траектории. Но если шар сбился с траектории — что же вылетело из устья кротовой

норы и сбило его?

Так вот, не пытайтесь так сделать, ничего у вас не выйдет.

Торн с учениками рассмотрели этот вопрос с точки зрения квантовой механики. Помните, в главе 2 мы видели, что, согласно квантовой механике, частица проходит из пункта **A** в пункт **B** всеми возможными путями, а разные возможные пути способны интерферировать друг с другом, обеспечивая один — единственный наблюдаемый результат. То же самое может произойти и в нашей машине времени, отчего поздние и ранние версии бильярдного шара взаимодействуют только так, чтобы обеспечивать соответствие единой истории Вселенной.

Представьте себе, что вы пытаетесь проделать вышеописанный фокус. В результате получится вот что (с вашей точки зрения); вы наносите удар, но до того, как ваш шар попадает в первое («позднее») устье кротовой норы, в точности такой же шар вылетает из второго («раннего») устья и слегка ударяет по вашему шару. Ваш мяч все равно попадет в кротовую нору, но под несколько иным углом, чем вы собирались. Не забывайте, что вы рассчитывали удар с единственной целью сбить с траектории собственный шар, и ничего у вас не вышло. Вообще-то с учетом того угла, под которым ваш шар вошел в кротовую нору, вы бы ожидали, что шар из второго устья («раннего») вылетит именно под тем углом, под которым он вылетел. Так и случилось.



Иначе говоря, путешествуйте во времени на здоровье. По возвращении вас все равно будет поджидать абсолютно то же самое настоящее.

Хим-парад
искусств во времени
Робо-Джеффа

Важное замечание: мы здесь оцениваем не качество фильма, а то, насколько в нем выдержано соответствие выбранной модели путешествия во времени — либо в самосогласованной вселенной, либо во множественных мирах.

«12 обезьян» (1995) ★★★★★ — Великолепный детектив, но поскольку преступление уже было совершено, оказывается, что путешествие во времени ничего не меняет. Все уже и так случилось.

«Назад в будущее» (I, II, III; 1985, 1989, 1990) ★ — Вмешательство в прошлое не заставит человека медленно исчезнуть. Просим прощения, Эдип.

«Планета обезьян» (1972) ★★★★★ — Сверхразумный шимпанзе, потомок обезьян будущего, возвращается в 1991 году и возглавляет восстание человекообразных. Дарвин был бы недоволен, если бы ему сказали, что гориллы способны выучиться бегло болтать по-английски всего за пять лет.

«Герои» (ТВ, 2006 и далее) ★ — Супермен по имени Хиро путешествует во времени, пытаясь спасти будущее. Он не просто мешает сам себе, но и умудряется изменить будущее, которое уже описано и никогда не должно произойти.

«Квантовый скачок» (ТВ, 1984–1989) ★ — Доктор Сэмюэль Беккет и его воображаемый друг отправляются в прошлое и в тела других людей, чтобы скорректировать ход истории. Если верить этому телесериалу, ученый учит Майкла Джексона танцевать.

«Звездный путь-IV» (1986) ★★★★★ — Кто сказал, что Кирк с командой изменил прошлое? Нам известно только, что он похитил нескольких китов.

«Машина времени» (1960) ★★★★★ — Джордж Уэллс отправляется на 800 тысяч лет вперед, чтобы обнаружить символическое расщепление добра и зла. Для создания этого будущего не пришлось ничего менять в прошлом.

«Полиция времени» (1994) — НИ ОДНОЙ ЗВЕЗДЫ. В 2004 году путешествие во времени *не* *позволяется*. Жан-Клод Ван Дамм (что очевидно) — полицейский-во-времени, который спасает жизнь своей (якобы) погибшей жене, не изменяя ход истории.

Глава 6. РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

ГЛАВА 6



— ОТВРАТИТЕЛЬНОЕ МЕСТО. ВСЕ ТЯНЕТСЯ, ТЯНЕТСЯ,
И КАЖЕТСЯ, ЧТО ИЗ НЕГО НИКОГДА НЕ ВЫЙДЕШЬ!

Надо быть благодарными, когда есть за что. Благодаря популярным статьям в «Нью-Йорк таймс» и передачам на канале «Дискавери», а также множеству научно-популярных книг по данному вопросу^[90], в общественное сознание удалось внедрить некоторые научные фразы.

Спросите первого встречного, что происходит со Вселенной в данный момент, и не исключено, что вам ответят: Вселенная расширяется. Ну, вперед, бегите на улицу, мы подождем.

А теперь вернитесь и спросите у того же встречного, что же это на самом деле значит — «Вселенная расширяется». Мы готовы спорить, что на сей раз готового ответа не найдется. Тут-то кстати подвернемся мы.

Сначала пару слов о том, чего это не значит. Помните сцену из «Гражданина Кейна», где Чарльз с Эмили сидят за завтраком и мы видим, что с течением лет стол становится все шире и шире и дистанция между Кейном и его женой становится все больше и больше?^[91]

Так вот, Вселенная расширяется *не так*. Ваш стол не расширяется. Земля не расширяется. Солнечная система не расширяется. Наша галактика Млечный Путь, которая имеет в поперечнике десятки тысяч световых лет, — тоже объект слишком «точечный», чтобы участвовать в расширении Вселенной в целом.

*Если Вселенная расширяется,
то куда она расширяется?*

Даже галактика Андромеда, расположенная от нас на расстоянии около 2,2 миллиона световых лет, на самом деле падает на нас со скоростью около 440 тысяч километров в час и, вероятно, столкнется с Млечным Путем, — ждать этого события осталось всего каких-нибудь три миллиарда лет. Дуглас Адамс ухватил суть вопроса в «Автостопом по галактике», когда писал: «Космос большой. Очень большой. Даже представить себе невозможно, какой он большой, огромный, колоссальный, сокрушительно-исполиноско-великанский. То есть если ты думаешь, что от дома до аптеки тебе пилить и пилить, для космоса это — тьфу». Глава эта по большей части посвящена тому, какой космос на самом деле пустой, но чтобы дать вам хотя бы первоначальное представление об этом, скажем, что когда придет роковой час и Млечный Путь запляшет танго с Андромедой, при этом едва ли столкнутся хотя бы две звезды. По всей вероятности, человечество погибнет не от столкновения звезд. К сожалению, вам придется подождать еще пару миллиардов лет — тогда Солнце наконец превратится в красного гиганта и сожжет на Земле все живое.

Хватит рассуждать о том, что кого убьет. Книга у нас веселая, и мы хотим рассказать вам о безобидном на первый взгляд расширении Вселенной. Если посмотреть, что делается примерно в 30 световых годах, окажется, что практически все галактики движутся от нас. Мало того —

кажется, что чем дальше от нас галактики, тем быстрее они разлетаются^[92].

Первым это отступление галактик отметил еще в 1917 году Весто Слифер из Лоуэллской обсерватории, причем выяснилось, что это едва ли не универсальный закон. Однако ученый не мог знать, насколько далеки эти галактики от нашей. Более того, в то время шли ожесточенные дебаты, что это за тусклые пятна света, которые видно в телескопы: туманности в пределах Млечного Пути или целые самостоятельные «островные вселенные» (как впоследствии и оказалось).

Расстояния до галактик измерить труднее, чем можно себе представить. Что бы ни писали в фантастических романах, нельзя полететь в другую галактику или даже к ближайшей звезде, развертывая за собой рулетку. Так что если астрономы, например, говорят: «До галактики Водоворот 23 миллиона световых лет», вы вправе спросить, откуда у них такие сведения.

Чем дальше от нас находятся звезды и галактики, тем тусклее они кажутся. Этот эффект мы можем использовать к собственной выгоде при помощи «стандартной свечи». Представьте себе, что вы идете в магазин и покупаете там стоваттную лампочку, ввинчиваете ее и начинаете от нее отходить. Чем дальше вы отходите, тем тусклее кажется свет. Вы знаете, насколько он ярок вблизи, поэтому, отходя от него, в состоянии оценить, насколько вы удалились, измерив, насколько тусклой кажется лампочка. Трудность заключается в том, что поскольку галактики не продаются в хозяйственных магазинах, на них не стоит маркировка в ваттах.

Даже Эдвин Хаббл, который, вероятно, был величайшим астрономом-наблюдателем начала XX века, не мог отмерять расстояния так уж четко. В 1929 году он откалибровал расстояния и наблюдаемые скорости расхождения других галактик, выдвинув закон, который впоследствии назвали «законом Хаббла».

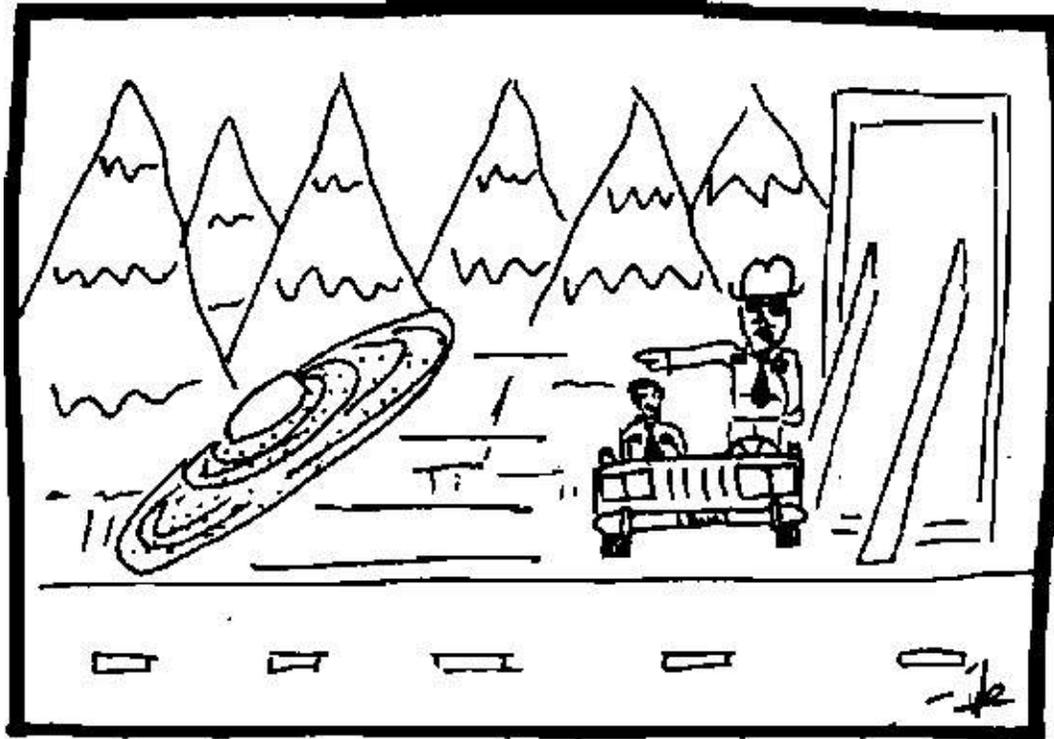
В своей статье Хаббл недооценил расстояния до галактик в восемь раз, и еще 20 лет назад публиковалось множество статей, где доказывалось, что расстояния, а следовательно, и постоянная Хаббла, вероятно, неверны с погрешностью в два раза^[93].

Данные со спутника «Гиппарх», запущенного в 1989 году, и запущенного в 1990 году космического телескопа «Хаббл» (удачное название), позволили астрономам измерить постоянную Хаббла с точностью до нескольких процентов.

Еще один кусочек пазла расширяющейся Вселенной — это измерение скорости, с которой разбегаются от нас галактики. Измеряют ее примерно

так же, как инспектор измеряет скорость, с которой вы мчитесь по дороге, — при помощи доплеровского сдвига. Вы наверняка заметили этот странный феномен, который происходит со звуком, когда мимо проносится пожарная машина. Когда машина летит на вас, сирена воеет выше обычного. А когда она удаляется, сирена воеет ниже. Со светом происходит примерно то же самое — только когда источник света движется на вас, свет кажется немного синее обычного. А когда удаляется — немного краснее. Чем быстрее удаляется источник, тем сильнее сдвиг в красную сторону, называемый астрономами «красное смещение».

Представьте себе, что мы берем Коржика из «Улицы Сезам» и разгоняем его в сторону от Земли со скоростью в 25 % скорости света. Его мех — темно-синий — в наших телескопах будет казаться ярко-красным. На взгляд астронома-наблюдателя Коржик — вылитый Элмо, однако он никогда не будет так бояться щекотки.



— 440 ТЫСЯЧ КИЛОМЕТРОВ В ЧАС? ОТЛИЧНО, СЕРЖАНТ!
МЫ ПОЙМАЛИ ЭТУ ГАЛАКТИКУ С ПОЛИЧНЫМ!

Мы знаем, что большинство книг по этому вопросу твердят, что галактики удаляются от нас, и опускают подробности, но мы верим в ваш интеллект. Вселенная растет, а галактики по большей части сидят смирно, зато пространство вокруг них растягивается. На первый взгляд такие

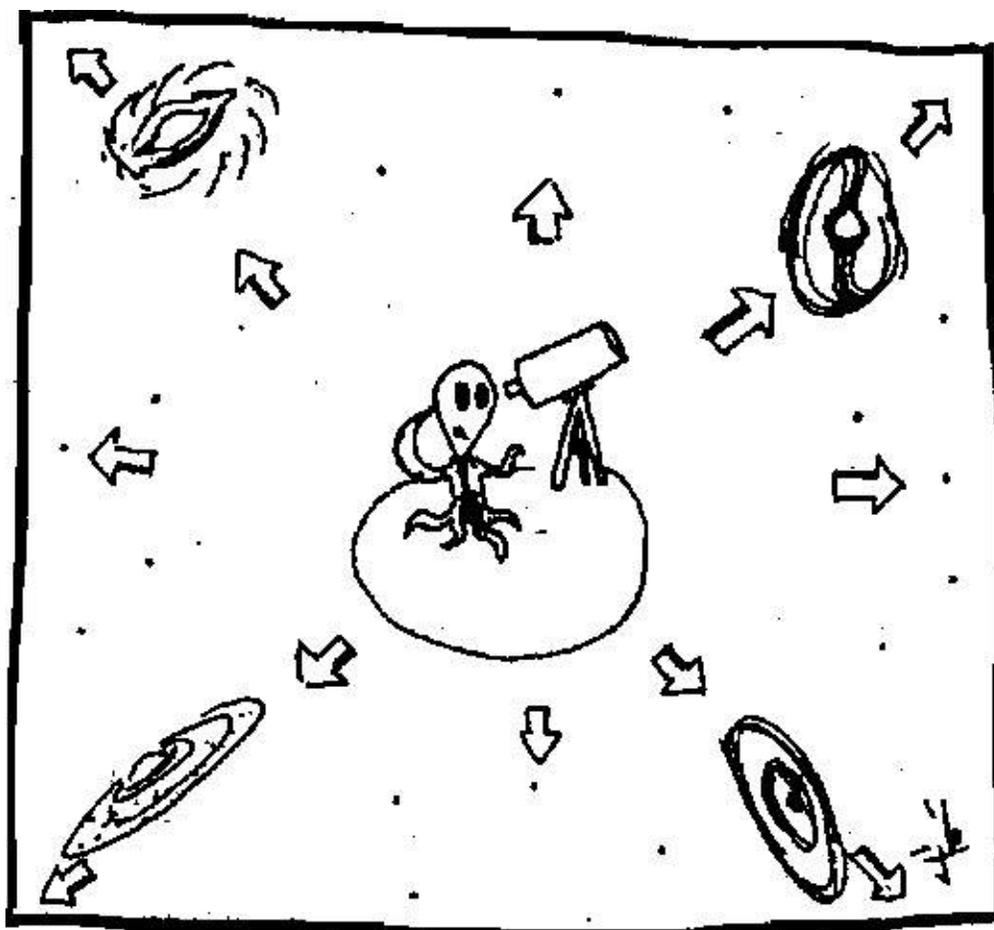
поправки кажутся мелочными придирками, но на самом деле это важное уточнение.

Когда какая-нибудь далекая галактика испускает свет, фотоны проделывают долгий путь — от родной галактики до нас. При этом Вселенная расширяется, и тем больше фотонам требуется времени на дорогу, чем больше Вселенная успевает расшириться за время пути. Это расширение влияет на их цвет, как мы уже описали. Когда фотон «расширяется», это на самом деле значит, что увеличивается длина световой волны. Длина световой волны определяет цвет. Так что если Вселенная расширяется, пока фотон путешествует, фотон будет становиться краснее. Чем дальше от нас находится источник, тем сильнее, успеет расшириться Вселенная за время пути и тем больше будет красный сдвиг у фотона.

I. Где находится центр Вселенной?

Если вы хоть немного похожи на нас, то выросли с убеждением, что вы — центр Вселенной, и на первый взгляд наблюдения Хаббла подтверждают эту теорию. Кажется, что все галактики разбегаются от нас врассыпную (хорошо, если хотите, Вселенная расширяется вокруг нас), и напрашивается мысль, что мы выгодно отличаемся от иных прочих. Ведь если все галактики удаляются от нас, значит, мы находимся в центре, как же иначе?

Позвольте представить: тентакуляне, раса астрономов из галактики, которая находится в миллиарде световых лет от нашей. Один из величайших астрономов — создание по имени доктор Калачик. Хотите познакомиться с доктором Калачиком? К сожалению, вынуждены вас огорчить. Поскольку эта галактика находится в миллиарде световых лет от нашей, то даже если бы мы послали на Тентакулюс VII радиogramму и попросили доктора Калачика ответить, у самого доктора Калачика это вряд ли получилось бы из-за крайне преклонного возраста. Если бы вам очень повезло, вы бы получили ответ от его прапрапра (умножьте миллионов на 50) правнучки, и к тому времени, как она ответила бы вам и указала на ошибку, пройдет еще добрый миллиард лет (даже если она не станет тянуть с ответом, а тогда наши потомки для начала просто забудут, что мы пытались с кем-то там наладить радиосвязь. Так что лично познакомиться с доктором Калачиком мы не можем, поэтому не можем и спросить у него, что же он видит в телескоп.



На самом деле все еще сложнее — ведь Вселенная расширяется. Если мы отправим сигнал на Тентакулюс VII, он будет идти туда больше миллиарда лет — и еще дольше будет идти ответ. Это все равно что пытаться измерить угря. Пока берешь линейку, он извивается со страшной силой, а пока приложишь к линейке голову, понимаешь, что нулевая отметка совсем не там, где ты ее оставил.

Это ничего, мы все равно знаем, что видит доктор Калачик в телескоп. Он видит в точности то же самое, что и мы с Земли, — почти все галактики в небесах разлетаются от Тентакулюса VII, и чем дальше они находятся, тем быстрее, как представляется, летят. Шовинистически настроенные элементы на Тентакулюсе уже постановили интерпретировать эти наблюдения как несокрушимое доказательство того, что Тентакулюс — центр Вселенной.

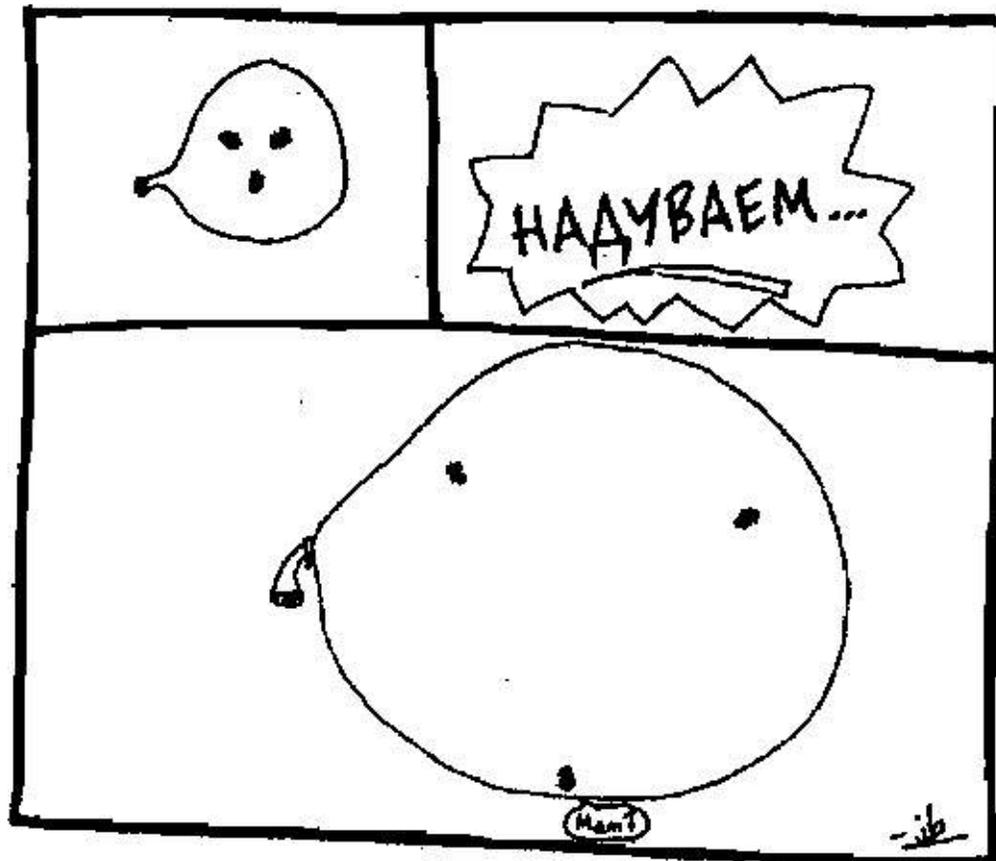
Разве может быть так, что прав и доктор Хаббл, и доктор Калачик? Разве может быть так, что обе галактики находятся в центре Вселенной?

Представьте себе, что вы жарите оладьи с черникой. Эту добавку мы

выбрали по двум причинам: во-первых, любим чернику, во-вторых, черничины, как и галактики, в процессе приготовления оладий сами по себе не расширяются. Когда тесто для оладий поднимается и расширяется, черничины начинают удаляться друг от друга. Если бы они были разумны, все и каждая из них думали бы одно и то же: все прочие черничины разбегаются от меня, а дальние движутся быстрее, чем ближние!»^[94]

Это подводит нас к достаточно деликатному вопросу, который вам, вероятно, покажется знакомым, если вы вспомните главу 1. Если у всех во Вселенной складывается впечатление, что все остальные от них разлетаются, разве можно утверждать, будто кто-то вообще двигается?

По всей истории науки красной нитью проходит общая тема «антицентропулизма». Николай Коперник (в честь которого назван «принцип Коперника») доказал, что Земля — не центр Солнечной системы. В 1918 году Харлоу Шопли из Гарварда показал, что наша Солнечная система находится на глухой периферии галактики Млечный Путь — вопреки распространенному заблуждению. А теперь Хаббл (и доктор Калачик на своей планете) утверждают, что наша Галактика — вовсе не центр Вселенной!



Однако, как мы сказали, с уверенностью назвать себя центром Вселенной не вправе никто. Предлагаем вам аналогию: представьте себе, что вы муравей, живущий на поверхности воздушного шара. Когда шар надувается, вы видите, что все остальные муравьи разлетаются от вас все дальше и дальше.

Заядлый зануда нашел бы возражения против мира муравьев. Он бы сказал: «Минуточку! Я знаю, что если бы мир муравьев надувался, муравьи бы заметили! Ведь я же замечаю, когда моя мама, скажем, нажимает на педаль газа!» Да, это так, но в нашем случае муравьи ничего не замечают, потому что их вселенная расширяется в загадочном третьем измерении, которого они прямо не воспринимают^[95].

Вероятно, мы движемся в четвертом пространственном измерении, которое отличается от привычной системы координат из трех пространственных осей и оси времени. Чуть ниже мы поговорим о том, возможно ли, что существуют и другие измерения, кроме трех, которые мы воспринимаем непосредственно. Вероятно, это как раз тот случай, когда аналогия заводит слишком далеко. По принятой сейчас стандартной космологической модели, мы не нуждаемся ни в каких измерениях, кроме трех известных (плюс время).

II. Как выглядит край Вселенной?

Разговор о Тентакулюсе VII наталкивает нас на важные размышления. Если бы у нас были такие мощные телескопы, что в них можно было бы разглядеть родную планету доктора Калачика, мы бы увидели не то, что там происходит сегодня, а то, что было примерно миллиард лет назад. А если бы мы поглядели на другую, еще более отдаленную галактику, то заглянули бы в еще более отдаленное прошлое. Именно так ученые и изучают ранние стадии развития Вселенной — они смотрят, что происходит в очень далеких галактиках.

Однако за самыми дальними галактиками существует предел, за который мы заглянуть не в силах. На Земле мы называем этот предел горизонтом, но точно такой же горизонт существует и у Вселенной в целом. Заглянуть за горизонт мы не можем, так как свет распространяется с постоянной скоростью.

А поскольку Вселенная существует относительно недавно, всего каких-то 13,7 миллиарда лет, все, что расположено дальше, чем 13,7 миллиарда световых лет, еще некоторое время не будет доступно нашему глазу.

А откуда, собственно, взялась эта дата «начала Вселенной»? Начнем с конца. Если все галактики во Вселенной удаляются друг от друга, значит, когда-то в прошлом был момент, когда они (или по крайней мере атомы, которые их составляют) сидели друг у друга на голове. Это «событие» мы называем Большим взрывом, который стал причиной крупных заблуждений, всяческой путаницы и написания следующей главы.

Оценить, когда произошел Большой взрыв, мы сумеем, если вспомним, что скорость — это отношение расстояния ко времени. Предположив (ошибочно, как выясняется, но пока что такая погрешность нас устраивает), будто скорость удаления галактики, где расположен Тентакулюс, с начала времен постоянна, мы можем вычислить скорость Вселенной при помощи простых маломатематических выкладок. Только подумайте: чем дальше от нас галактика находится сегодня, тем старше наша Вселенная, поскольку все разбегается друг от друга в известном нам темпе. Подставим в это простенькое линейное уравнение переменные, справедливые для нашей Вселенной, и прикинем, что возраст Вселенной — около 13,8 миллиарда лет: смотрите, результат почти такой же, как если бы вы проделали все вычисления точно и с нужными поправками.

Если бы у нас был достаточно мощный телескоп, смогли бы мы своими глазами увидеть зарождение Вселенной? Почти, но не совсем. Нынешний рекордсмен по дальности, объект по прозвищу **A 1689-zD1**, находится от нас на таком расстоянии, что его изображение, видимое в космический телескоп «Хаббл», относится к тому времени, когда Вселенная насчитывала всего 700 миллионов лет от роду (около 5 % ее нынешнего возраста), когда ее размер составлял меньше $\frac{1}{8}$ нынешнего.

Хуже того, **A 1689-zD1** удаляется от нас со скоростью, примерно в 8 раз превышающей скорость света. (Мы подождем, а вы перелистайте книжку назад, на главу 1, где мы четко и недвусмысленно заявили, что это невозможно.) Загадка мгновенно разрешится, если мы вспомним, что это Вселенная расширяется, а не галактика движется. Галактика стоит на месте.

Вам все еще кажется, что мы жульничаем? Вовсе нет. Специальная теория относительности не говорит, что предметы не могут удаляться друг от друга со скоростью больше скорости света. А говорит она следующее: если я отправлю в небо Бэт-сигнал, Бэтмен не сумеет перегнать его на Бэтплане, как бы ни пыжился. В более общем смысле это означает, что никакая информация (например, частица или сигнал) не может двигаться быстрее света. Это абсолютная правда, даже если Вселенная очень быстро расширяется. Мы не в состоянии использовать расширение Вселенной, чтобы обогнать луч света.

На самом деле мы способны заглянуть в прошлое даже дальше, чем **A 1689-zD1**, но для этого нам нужны радиоприемники. Мы можем заглянуть в то время, когда Вселенной было всего-навсего 380 тысяч лет от роду и она состояла всего лишь из бурлящей смеси водорода, гелия и крайне высокоэнергичного излучения.

Дальше все в тумане — буквально. Поскольку Вселенная на ранних стадиях своего развития была туго набита материей, это все равно что пытаться заглянуть за соседкины шторы^[96].

Что за ними, не видно, но мы знаем, как выглядит Вселенная сейчас и как она выглядела в каждый момент времени с ранних стадий до сегодняшнего дня, поэтому можем догадаться, что находится за этой космической шторой. Так и подмывает за нее заглянуть, правда?

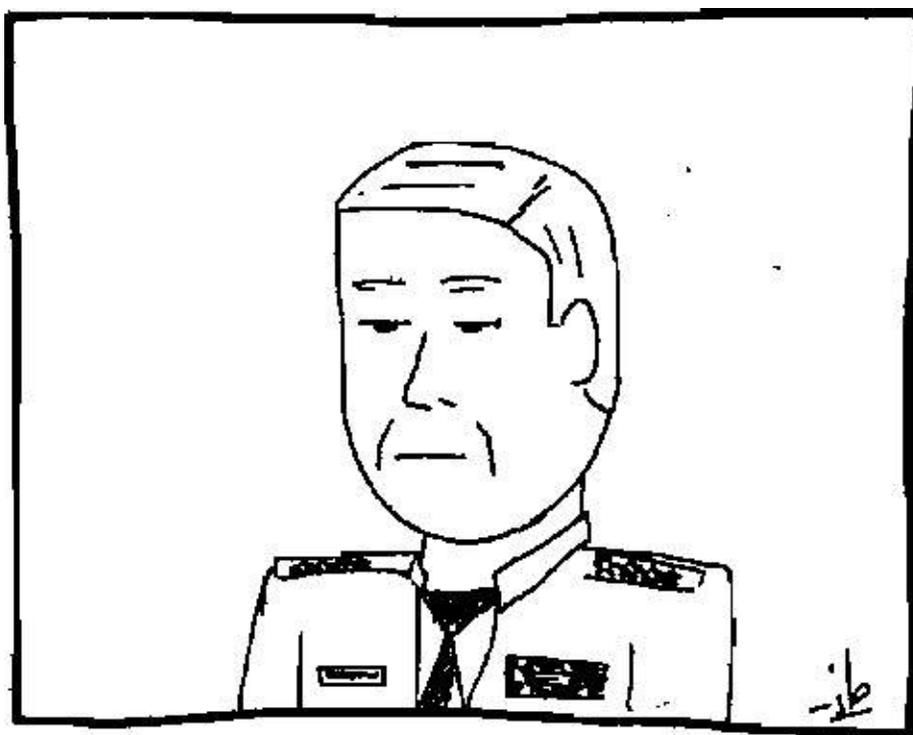
Так вот, хотя заглянуть за горизонт мы не в силах, зато видим достаточно много, чтобы удовлетворять собственное и чужое любопытство за государственный счет. Самое прекрасное — чем дольше мы ждем, тем старше становится Вселенная и тем дальше отодвигается горизонт. Иначе

говоря, существуют далекие уголки Вселенной, чей свет доходит до нас только сейчас.

А что же находится за горизонтом? Этого никто не знает, но мы вправе делать обоснованные догадки. Помните, что Коперник и его последователи ясно показали нам; «Когда куда-нибудь идешь, то все равно куда-нибудь придешь», поэтому можно предположить, что за горизонтом Вселенная выглядит примерно так же, как и здесь. Конечно, там будут другие галактики, но их окажется примерно столько же, что и вокруг нас, и выглядеть они будут примерно так же, как и наши соседки. Но это не обязательно правда. Мы выдвигаем такое предположение, поскольку у нас нет причин думать иначе.

III. Из чего состоит пустое пространство?

Так, значит, Вселенная расширяется, однако галактики в ней практически не движутся. Как же это все на самом деле устроено? Придется вернуться к эйнштейновской общей теории относительности. Джон Арчибальд Уилер блестяще описал эту теорию известным афоризмом: «Пространство диктует материи, как двигаться, а материя диктует пространству, как искривляться», и именно так и следует о ней думать.



По словам генерала О. Т. Относительности:
«Все во Вселенной четко расклассифицировано»

Мы не забыли о своем обещании держаться подальше от математики, однако формулировка Уилера, по сути, — это сухое изложение главного уравнения общей теории относительности — эйнштейновского уравнения поля. Приводить его здесь мы не будем, но кое-что о нем нужно знать.

Левая сторона уравнения поля^[97] определяет, насколько две точки далеки друг от друга и в пространстве, и во времени, — эта величина называется «метрика», — а если мы посмотрим, как метрика меняется в

пространстве, то сможем описать, насколько оно искривлено.

Метрике отводится настолько важная роль, поскольку частицы ленивы и выбирают именно тот маршрут, который позволяет минимизировать время на дорогу. В плоском (то есть лишенном гравитации) пространстве самый быстрый путь — прямая, как вы, вероятно, и сами догадываетесь, но если пространство искривлено гравитацией, все сильно осложняется.

Представим себе, что вы бросаете мячик приятельнице. Мячик хочет долететь до нее как можно быстрее, так что, вероятно, кратчайший путь — это прямая. Но постойте! Гравитация, как мы видели в предыдущей главе, заставляет время у поверхности Земли идти самую чуточку медленнее, поэтому мяч, вероятно, доберется до вашей приятельницы быстрее, если чуточку поднимется от земли и опишет дугу. С другой стороны, если дуга окажется слишком крутой, мячу придется двигаться быстрее, а мы уже видели, что если мяч летит очень быстро, время для него замедляется. Начинается поиск компромиссов, и мяч следует кривой пространства-времени и летит по дуге. Понятно? Несмотря на все разговоры о релятивистском времени и искривленном пространстве, в слабых гравитационных полях вроде поля Земли гравитация ведет себя именно так, как предсказывал Ньютон.

Но если мы хотим разобраться, как развивается Вселенная в целом, придется вырваться из слабого поля Земли, а для этого нужно сказать два слова о метрике. Напомним, что метрика говорит нам, насколько далеко отстоят друг от друга две точки. Представьте себе, что у вас есть линейка, которая медленно сжимается. И если вы через некоторое время решите измерить, например, расстояние от вас до Парижа, то обнаружите, что оно постоянно увеличивается.



ЭЙНШТЕЙНОВСКИЕ УРАВНЕНИЯ ПОЛЯ

Именно это и происходит в настоящей Вселенной!

Забудьте, чему вас учили в школе: пространство не абсолютно. Мы уже видели, что пространство и время для движущихся наблюдателей и наблюдателей, которые находятся вблизи массивных тел, относительны. Теперь мы понимаем, что по мере старения Вселенной меняется само пространство.

А что же находится по правую сторону эйнштейновского уравнения поля? Уилер нам уже ответил: «Материя диктует пространству, как искривляться». Именно материя Вселенной и говорит Вселенной, как развиваться.

Как же мы разберемся во всем этом, если (на самом деле) даже не знакомы с уравнениями общей теории относительности? Не бойтесь. Помните, что, когда речь заходит о гравитации, физическая интуиция и здравый смысл помогают даже лучше, чем вы думали.

Мы тут довольно бойко рассуждали о расширении пространства, но так ничего и не сказали о том, что же такое это самое пространство. Исаак Ньютон в своих *Principia Mathematica* много говорил о пространстве и придумал небольшой мысленный эксперимент, позволяющий пояснить, что это такое, на конкретном примере. Вернемся далеко назад — в главу 1, где Рыжий, Галилей и Эйнштейн (не обязательно в этом порядке) обнаружили,

что наблюдатель не может определить, двигается он или покоится, если движение происходит равномерно. Играет роль исключительно динамика двух наблюдателей при их относительном движении.

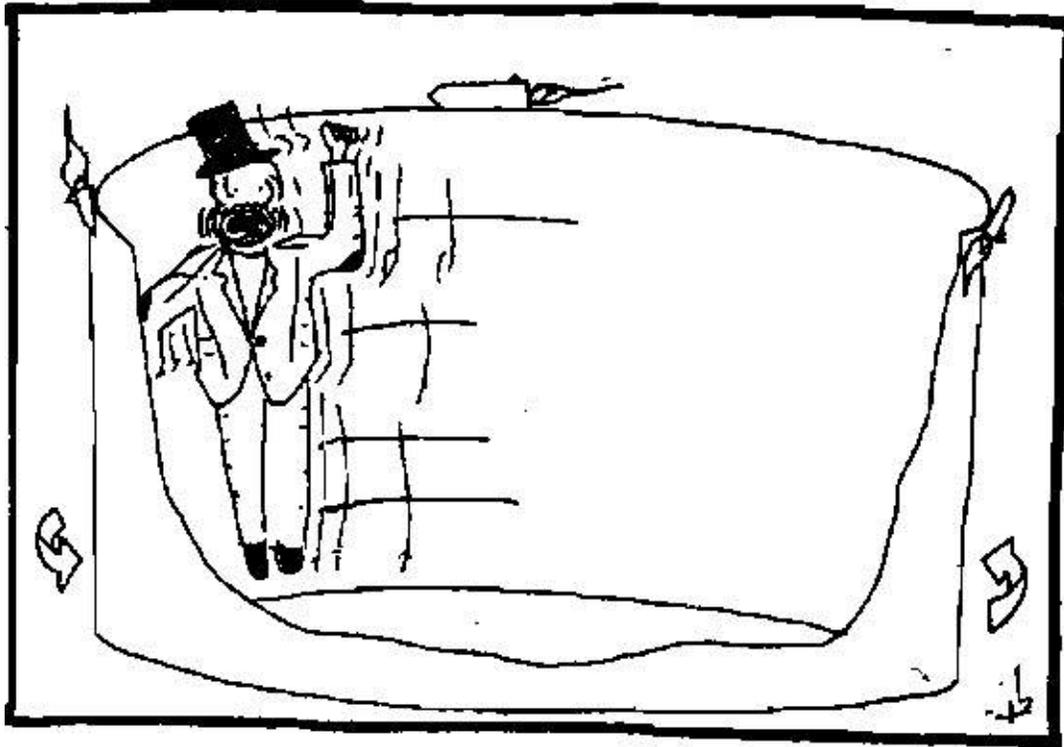
Ньютон представил себе, что на скрученной веревке висит ведро, полное воды. Ведро удерживают в неподвижности, а затем отпускают, и веревка начинает раскручиваться, и ведро вертится. Поначалу вода хочет остаться на месте, и стенки ведра вертятся вокруг нее. Затем вступает в действие сила трения между водой и ведром, и вода начинает крутиться вместе с ведром. И при этом взбирается вверх по стенкам.

Да, понимаем — вы читаете и думаете: «Ну и что?»

Мы так много об этом разглагольствуем, поскольку к концу эксперимента Ньютона относительное движение между ведром и водой *отсутствует* — тем не менее мы можем сказать, что ведро и вода вертятся. Вот в чем вопрос: откуда ведро «знает», что оно вертится? Почему вода по-прежнему взбирается вверх по стенкам, если она никуда не движется относительно ведра?

Представьте себе одну простую вещь, которую вы увидите в любом научном музее: маятник Фуко. Маятник — это грузик, закрепленный на струне или тросе, который болтается туда-сюда, как в напольных или настенных механических часах. Маятник Фуко подвешивают так, чтобы он качался в любом направлении, куда захочет. Грузик раскачивают в одной плоскости — туда-сюда, — однако если наблюдать за ним достаточно долго, станет заметно, что он еще и вращается. То есть на самом деле маятник раскачивается в одной плоскости, а Земля под ним вращается. Каким-то образом маятник знает, как сохранить свою фиксированную ориентацию относительно пространства.

А лучше представьте себе, что наш старинный приятель Рыжий сидит в большой цилиндрической комнате, оборудованной ракетными двигателями, — нечто вроде аттракциона-центрифуги в парке развлечений.



Двигатели заводятся, барабан центрифуги начинает вращаться. Проходит совсем немного времени, и они останавливаются, но устройство в целом продолжает вращаться. Если вы видели «Космическую Одиссею-2001» или любой другой научно-фантастический фильм, где силу тяжести на космической станции симулируют вращением, то знаете, что произойдет: Рыжего начнет тащить вверх по стенкам^[98].

Если во Вселенной нет ничего, кроме Рыжего с его центрифугой, у нас возникает вопрос: как можно сказать, что они вращаются? Относительно чего они вращаются? Попробуйте ответить на этот вопрос, избежав слова «пространство». Ведь пространство — это всего-навсего *ничто*, пустота, не так ли?

Философ Эрнст Мах примерно 240 лет спустя так сказал об этом в своей «Механике»: «Исследователь должен ощущать нужду в... знании о непосредственных связях, скажем, между массами во Вселенной. Они будут парить перед ним как идеальное представление о принципах материи в целом, из которого таким же образом вытекают все ускоренные и инерционные движения».

Нельзя сказать, чтобы это было точное научное определение того, как устроена Вселенная, но относительно вероятно, что мы забыли бы, что хотел донести до нас Мах, если бы не тот факт, что «принцип Маха» крайне

занимал Эйнштейна (именно Эйнштейн так его и назвал). Он перефразировал это высказывание гораздо лаконичнее: «Инерция — это своего рода результат взаимодействия между телами».

По-прежнему сложно? А если так: «Тамошняя масса влияет на здешнюю инерцию»?

Ну и что? Конечно, далекая материя влияет на движение тел поблизости от нас. Именно это мы называем гравитацией. Но Мах говорил не об этом, и Эйнштейн усмотрел в его словах не это. Мах говорил, что если мы сравним нашу материю с далекими звездами, то уж как-нибудь сообразим, движемся мы или нет — по крайней мере ускоряемся мы или нет.

Принцип Маха в основном и вдохновил Эйнштейна на создание общей теории относительности. Основная идея заключалась в том, что «далекие звезды» в среднем можно считать неподвижными, и мы вправе сказать, что что-то движется или, если уж на то пошло, вращается, только относительно неподвижных звезд.

Верен ли принцип Маха?

Не обязательно. С математической точки зрения это решение уравнений Эйнштейна для пустого пространства. То есть для пространства, где материя как таковая отсутствует. Очевидно, что в таком случае не может быть и речи ни о каких далеких звездах, однако эйнштейновская специальная теория относительности все равно предсказывает, что если вы вдруг окажетесь в этой пустой вселенной, то «почувствуете», что вращаетесь.

Но ведь абсолютно пустая вселенная — это не правило, а исключение. В нашей Вселенной есть вещество. Общая теория относительности инкорпорирует во Вселенную материю. Это и есть то «свертывание» пространства, которое ощущается где угодно, в том числе и здесь.

Сразу после того, как Эйнштейн выдвинул общую теорию относительности, Джозеф Лензе и Ханс Тирринг из Венского университета заметили, что если взять достаточно массивное тело, скажем, черную дыру, и привести это тело во вращение, то пространство вокруг черной дыры тоже потянется за ней. Иначе говоря, если вы попытаетесь стоять на месте, покажется, будто вы вращаетесь. И это не просто догадка. С тех пор было запущено множество спутников, которые зарегистрировали вращение пространства, вызванное вращением Земли и Марса.

Мы хотим сказать, что на крупных масштабах получается, будто именно материя и «создает» пространство, даже если локальное пространство выглядит так, будто в нем ничего и нет.

IV. Насколько пусто пространство?

На последних нескольких страницах нас увело в сторону эзотерики — мы слишком много рассуждали о природе пространства и обо всем таком прочем, а теперь пора перейти к более конкретным разговорам. Так вот, давайте договоримся: если вы согласитесь, что галактики во Вселенной в общем и целом никуда не движутся, а Вселенная вокруг них расширяется, мы согласимся что можно иногда предаваться невинным фантазиям, что мы-де находимся в центре Вселенной. Для подтверждения согласия как следует встряхните эту книжку.

Мы сочтем, что вы тем самым сказали «да».

И даже можем проделать кое-какие корректные физические выкладки на основе «центропуристской» модели. Начнем с основного вопроса — замедляется расширение Вселенной или ускоряется?

Посмотрите на это с точки зрения Вселенной и постарайтесь проделать следующий эксперимент.

1. Выйдите на улицу с футбольным мячом.
2. Бросьте его вертикально вверх.
3. Быстренько отойдите в сторонку.

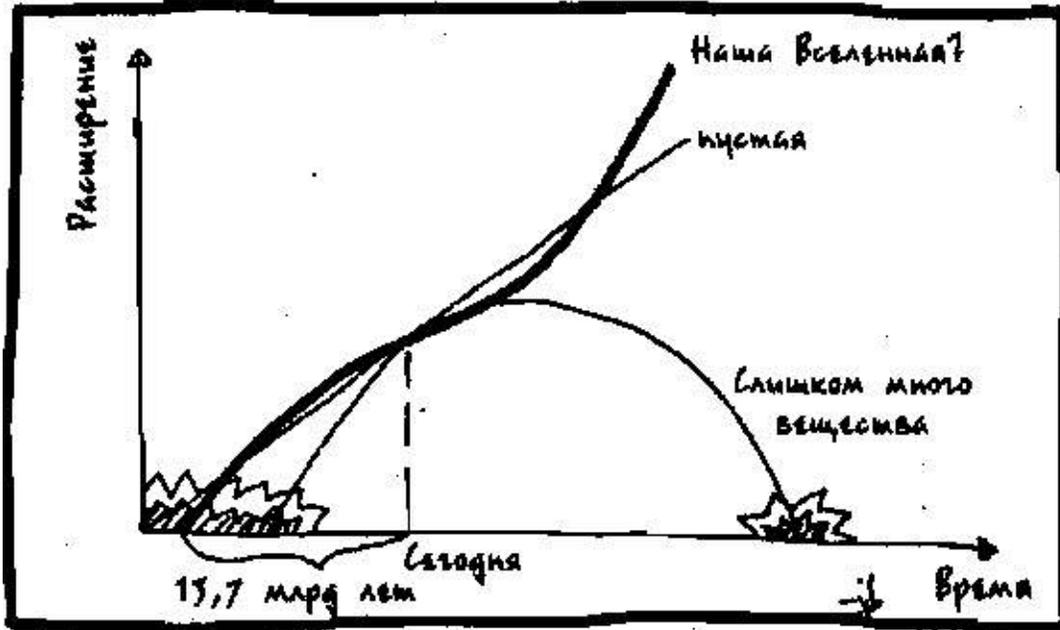
Сколько бы вы ни повторяли эксперимент, происходит одна старая история — что взлетает вверх, то падает вниз.

Разумеется, причиной того, что мы сумели построить ракеты, которые летают на Марс, стало следующее: если запустить мячик или ракету достаточно быстро, они вырвутся из гравитационного поля Земли. Скорость, с которой можно улететь с Земли, составляет примерно 40 тысяч километров в час — это называется «вторая космическая скорость». Ракеты взлетают в космос, поскольку двигаются быстрее.

А на Луне вторая космическая скорость составляет чуть больше 8000 километров в час. То есть если бы вы стояли на Луне и запустили сверхскоростной мячик со скоростью 16 тысяч километров в час, то обнаружили бы, что он вышел в открытый космос. А если бросить мяч с той же скоростью с Земли, то он в конце концов с размаху шлепнется обратно. Еще один пример для наглядности: вторая космическая скорость у Деймоса — спутника Марса — около 21 километра в час. Даже мы могли бы запустить мяч с Деймоса в открытый космос! Ну, наверное.

Так чем же Деймос так отличается от Земли? Массой. У Земли масса гораздо больше, а значит, больше и гравитация. Чем меньше масса, тем

меньше сила гравитации, которая притягивает мяч обратно к планете (планетоиду, спутнику и т. п.), вот почему вторая космическая скорость у Деймоса такая маленькая. Для массивных предметов вроде галактик это тоже справедливо.



Если бы Вселенная была совершенно пуста (а это, к счастью для нас, совсем не так), то она бы расширялась вечно с абсолютно неограниченной скоростью. Не было бы материи, которая бы ее затормозила. Если бы у нас была настолько пустая вселенная, а мы поместили бы в нее немного вещества, то расширение бы немного замедлилось. Не забывайте: материя влияет на пространство, так что если бы мы поместили в эту вселенную целую кучу вещества, то она бы впоследствии схлопнулась.

Линия, отделяющая вселенную, которой суждено расширяться бесконечно, от вселенной, которой суждено схлопнуться, называется критической плотностью вселенной, и она гораздо ниже, чем вы думаете.

Обычно представление о том, насколько плотно космос набит материей, сильно преувеличено, поэтому, вероятно, нужно устроить проверку реальностью, и начнем мы с того, что происходит у нас по соседству. Вспомните сцену из «Звездных войн», когда Хан Соло на «Тысячелетнем Соколе» пробивается сквозь пояс астероидов. Тогда звездолет едва не развалился. Как вам, наверное, известно, у нашей Солнечной системы тоже есть пояс астероидов — между орбитами Марса и Юпитера (соответственно четвертой и пятой планетами, считая от Солнца). Что же произойдет, если вы преисполнитесь неблагоразумной отваги и

рванете на своем звездолете к Юпитеру?

Ничего особенного.

Хотя астрономы не уверены, сколько в точности там астероидов, разумная оценка — 10 миллионов — показывает, что среднее расстояние между этими каменюками — больше полутора миллионов километров. Если вы не представляете себе, сколько это, поясним: полтора миллиона километров — это примерно в четыре раза больше, чем до Луны, а настолько далеко забирались пока едва ли пара десятков человек.

Если мы покинем Солнечную систему и двинемся к другим звездам, окажется, что от ближайшей звезды Проксима Центавра нас отделяет расстояние в четыре световых года, а по пути все довольно пусто. В среднем каждый кубический сантиметр (средний размер игрального кубика) межзвездного пространства содержит всего один атом водорода. Для сравнения — это примерно в 10^{16} раз менее плотно, чем земной воздух, и примерно в миллион раз менее плотно, чем самый-самый чистый искусственный вакуум, которого мы способны добиться в лаборатории.

Пространство между галактиками, даже если бы Вселенная обладала критической плотностью, еще в миллион раз менее плотно. Это значит, что на каждый кубометр пространства (это примерно объем вашего холодильника) приходится всего пять атомов водорода.

Вы, конечно, подозревали, что в космическом пространстве пусто. Потому-то оно и называется пространством. В некотором смысле.

Поскольку астрофизики не любят, когда у них в распоряжении остается так мало атомов, нас интересует, в сущности, только то, обладает Вселенная плотностью меньше критической или больше, поэтому мы определяем соотношение. Это соотношение сравнивает количество материи (любой материи) во Вселенной с количеством материи, которое мы ожидали бы при критической плотности. Это соотношение мы называем:

Ω_m .

Если вы хотите рассказать маме, чему вас научила эта книга^[99], а картинку по телефону не покажешь или просто бумажки под рукой нет, имейте в виду, что это называется «омега материи».

А сейчас мы испортим весь сюрприз и скажем, что по самым точным оценкам Ω_m составляет 28 % (плюс-минус, крохотулечная погрешность) материи — именно такая доля вещества во Вселенной заставит ее схлопнуться. По мере расширения Вселенной материя в ней становится все

более диффузной, так что с течением времени Вселенная будет казаться все более пустой. А значит, плотность Вселенной будет уменьшаться (пространства становится больше, а новой материи не вырабатывается), поэтому соотношение тоже будет уменьшаться.

Это очень важное число, особенно для чокнутых астрономов, и за последние два десятка лет основные усилия классической космологии были направлены на то, чтобы получить это число и еще несколько других [\[100\]](#), из которых можно вывести возраст, судьбу, будущее и прошлое Вселенной.

Но это число особенно важно, поскольку оно говорит нам, собирается ли Вселенная снова впасть в коллапс или будет расширяться бесконечно. Чтобы вычислить это соотношение, нам нужно измерить, сколько вещества нас окружает, и поэтому главный вопрос звучит так: как нам взвесить Вселенную?

В наблюдаемой Вселенной свыше 100 миллиардов галактик, и в них сосредоточена большая часть массы. Если мы сообразим, как взвесить галактики или скопления галактик, то просто сложим массу в пределах определенного участка пространства и вычислим таким образом плотность Вселенной.

V. Где же находится все вещество?

Незачем пытаться взвесить всю Вселенную — достаточно найти способ точно вычислять вес отдельных галактик, и дело в шляпе. Как вам такая мысль: посчитать, сколько в галактике звезд, и предположить, что все они примерно похожи на Солнце. В конце концов, когда смотришь на ночное небо, все, что видишь, — это звездный свет или, как в случае Луны и планет, отраженный звездный свет нашего же Солнца. Более того, в нашей Солнечной системе 99,99 % массы — именно звездная (масса Солнца), поэтому, наверное, предположение, что (практически) вся масса галактик сосредоточена в звездах, не такое уж и безумное. Если мы переработаем цифры в нашем навороченном компьютере, то получим универсальную плотность — $\Omega_{\text{ЗВЕЗД}}$ — всего в 0,2 %.

Это означает, что галактики, как и автоботы с дещептиконами, не совсем то, чем кажутся. В большинстве галактик солидную долю «вещества» составляет огромное количество газа, который испускает рентгеновское излучение, а не видимый свет. Так что если вы когда-нибудь приведете любимую галактику в рентгенкабинет, доктор сразу скажет вам, сколько в ней газа, измерив рентгеновское излучение. Если вы включите в свои расчеты ту массу, которая найдется благодаря этому эффекту, и приплюсуете ее к массе звезд, то обнаружите, что $\Omega_{\text{м}}$ составляет 5 %, то есть Вселенная по-прежнему, прямо скажем, пуста.

Эти пять процентов — своего рода сюрприз, причем неприятный. Они отражают количество массы, которое содержится в обычной материи — физики любят называть ее «барионы», а это, как вы помните^[101], всего лишь протоны и нейтроны.

А значит, все элементы состоят из барионов, что, в свою очередь, значит, что все атомы и молекулы стоят из барионов, а из этого следует, что мы с вами, Солнце, Земля, звезды, газ, пыль и все, что вы видели или с чем имели дело, состоит из барионов. Есть уйма разных оценок, которые можно проделать, чтобы подсчитать количество барионов во Вселенной. По всем получается, что $\Omega_{\text{в}}$, то есть доля критической плотности в барионах, составляет всего около 5 %.

Все было бы прекрасно, если бы не любопытное наблюдение, которое сделала в 1970 году Вера Рубин с коллегами. Она отметила, что звезды вращаются вокруг галактик и вся эта конструкция держится на гравитации.

Если в галактике недостает массы, звезды от нее разлетятся. Именно это происходит, если, разухарившись, начинаешь вертеть вокруг себя раскидайчик и тут кто-то злокозненный перерезает шнурок. Раскидайчик больше не крутится по «орбите», а отлетает в сторону, вероятно, подбив кому-нибудь злокозненному глаз^[102].

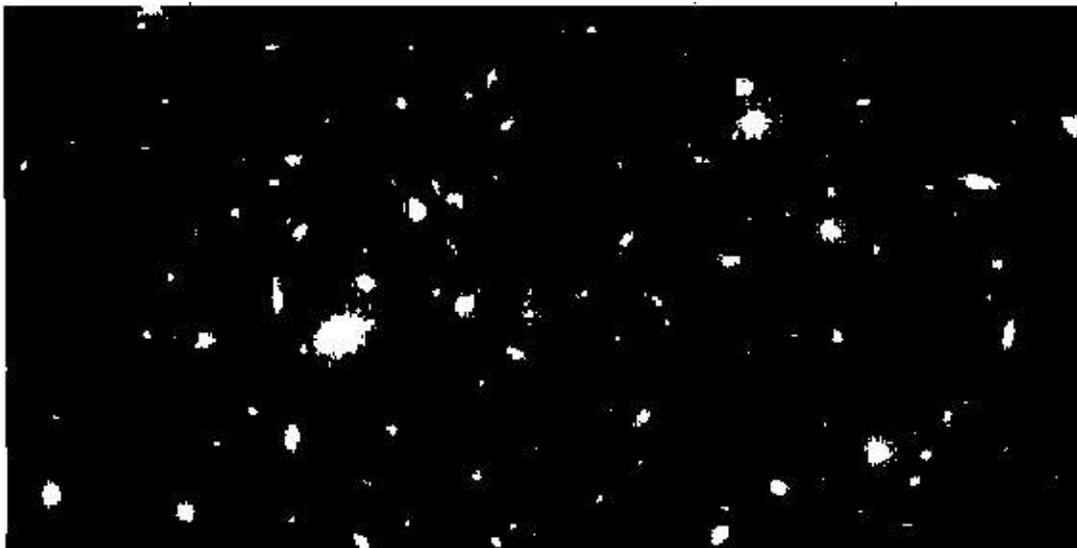
Суть вот в чем: мы измерим, с какой скоростью двигаются звезды вокруг центра галактики, если вычислим доплеровский сдвиг, а затем уже на основании этих данных оценим общую массу этой галактики. И знаете, что оказалось? Оказалось, что галактики примерно в шесть раз массивнее, чем мы думали! Иначе говоря, Ω_m составляет около 28 %, но только в том случае, если мы предположим, что большая часть массы, около 85 %, состоит из некоей загадочной «темной материи», которую нам не видно.

Возможно, в наших выкладках есть какая-то ошибка, а может быть, мы что-то неверно измерили. Бритва Оккама велит нам считать самое простое решение самым лучшим, а гораздо проще сказать, что мы где-то ошиблись, чем сказать, что мы почему-то не видим 85 % массы Вселенной! Нужны дальнейшие изыскания.

В последние годы симпатичные умницы-астрономы стали для измерения масс галактик и скоплений галактик пользоваться техникой, известной как «гравитационные линзы». Эта техника опирается на то, что массивные объекты вроде галактик немного искривляют пространство, а лучи света следуют кривизне пространства. Например, если галактика, где находится Тентакулюс, расположена между Землей и другой, более далекой галактикой, изображение задней галактики будет искажено массой галактики Тентакулюса. Чем больше масса, тем сильнее искажение.

Поблизости от скоплений галактик этот феномен еще заметнее, поскольку скопления галактик иногда имеют массу в целый квадрильон (10^{15}) масс Солнца. Если скопления искажают своей линзой галактики на заднем плане, то астрономы на Земле будут наблюдать эти галактики не в нормальном виде, а в виде всяческих дуг, а иногда одна и та же галактика будет представлена двумя изображениями — примерно как в лупу под определенным углом видно, скажем, два ваших указательных пальца вместо одного.

Налицо редкий случай, когда забавная картинка не поможет; взгляните на изображение скопления галактик Abell 2218, сделанное космическим телескопом «Хаббл».



Если приглядеться, станет видно, что некоторые галактики — очень яркие и округлые. Это галактики в скоплении. Однако, присмотревшись еще внимательнее, вы увидите, что на фотографии много узких продолговатых мазков и выгнутых дуг. Хотите верить, хотите нет, это тоже обычные галактики, просто они (если смотреть с Земли) находятся за скоплением, и их изображения беспардонно искажены гравитационным полем.

Гравитационные линзы позволяют измерять массу галактик, а следовательно, и Вселенной, еще одним способом, и все вычисления приводят к одному выводу: во Вселенной вшестеро больше массы, чем суммарная «обычная» барионная масса. В 2006 году Маруся Брадач, которая тогда работала в Стэнфорде, и ее коллеги изучили столкновение пары скоплений, так называемое скопление «Пуля», и получили поразительные результаты.

Как мы уже видели, большинство обычной массы в скоплениях составляют не звезды, а горячий газ. Звезды, та часть галактик, которую мы видим глазами, — всего лишь крошечное меньшинство. Так что если бы эта темная материя — материя, неразличимая глазом, — на самом деле состояла из обычного вещества, можно было бы ожидать, что она будет образовывать те-же структуры, что и газ.

Так вот, Брадач и ее сотрудники обнаружили, что в скоплении не просто больше массы, чем масса газа, — хуже того, темная материя, судя по всему, находится даже не рядом с газом! Иначе говоря, даже хотя мы не знаем, что это такое — темная материя, зато знаем, как ее искать. К вопросу о том, что же такое на самом деле темная материя, мы вернемся в главе 9.

VI. Почему Вселенная ускоряется?

Примерно до 1998 года положение дел в космологии практически полностью определялось поисками темной материи. Поскольку результаты измерения массы галактик еще только ожидалось, космологическое сообщество в большинстве своем было убеждено, что Ω_m нужно дополнять до 100 %. Убедительных свидетельств в пользу обратного не было, а большинство теорий опиралось именно на это число ^[103].

Однако серия наблюдений в середине 1990-х годов не оставила от этой идеи камня на камне.

Не так давно мы упоминали о том, что самый распространенный и простой способ измерить расстояние до других галактик — разобраться, насколько они яркие сами по себе, и, измерив, насколько яркими они нам кажутся, оценить дистанцию. Природа предусмотрительно снабдила нас превосходными «стандартными свечами» — в виде определенного типа взрывающихся звезд под названием «сверхновые типа 1a».

Сверхновые типа 1a состоят из белого карлика и красного гиганта, вращающихся по орбитам вокруг друг друга. Белый карлик — тлеющее ядро звезды, довольно плотное. Красный гигант очень большой, и его гравитации не хватает на то, чтобы удержать все его владения под контролем. В нашем случае это означает, что газ из внешней атмосферы красного гиганта падает на поверхность белого карлика.

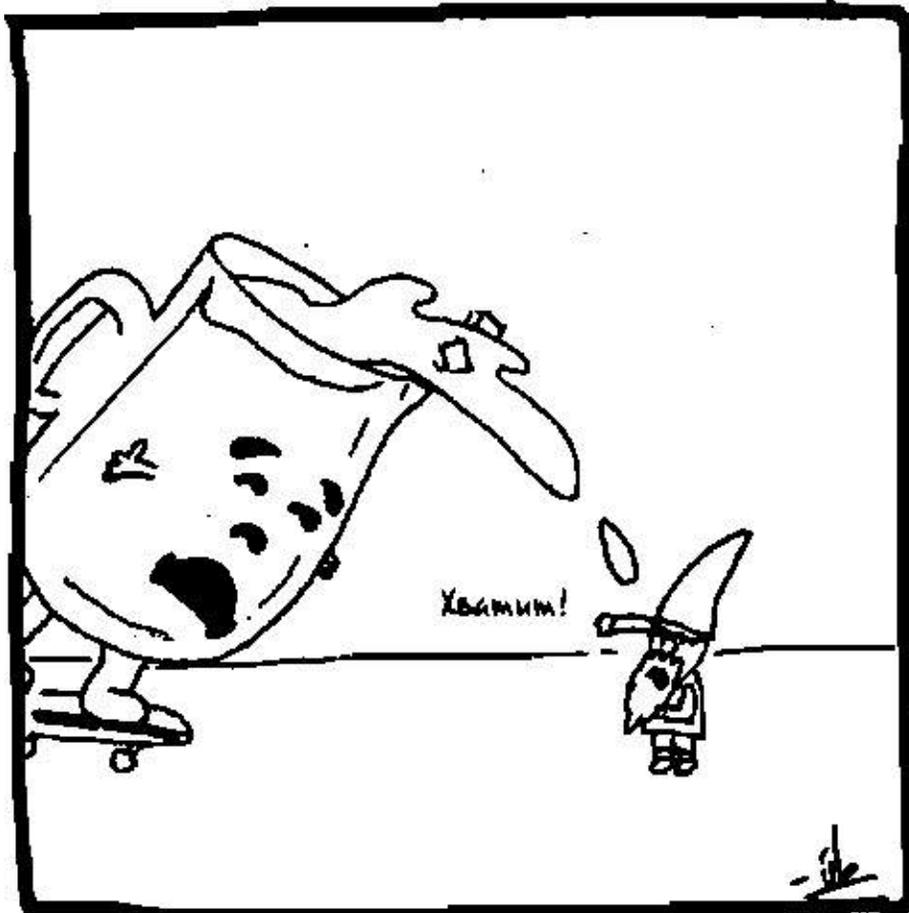
Белые карлики — объекты очень компактные. Когда наше Солнце превратится в белого карлика, оно станет маленьким, как Земля ^[104].

Эти звезды такие плотные, что отдельные электроны в них буквально наталкиваются друг на друга. Белые карлики примерно в миллион раз плотнее гранита, и сжать белый карлик еще сильнее очень и очень трудно. Так вот, в конце концов на поверхность белого карлика нападает столько «отбросов» с красного гиганта, что белый карлик уже не сможет их принять, и протоны и электроны в этой звезде соединятся в нейтроны, образуя так называемую нейтронную звезду. При этом происходят колоссальный взрыв и выброс материи — это и есть сверхновая типа 1a. За несколько недель эта вспышка выделяет столько энергии, сколько Солнце за всю свою жизнь.

Когда сверхновая взрывается, лучше держаться подальше. Даже если она вспыхнет на расстоянии десяти световых лет, Земля в результате такого взрыва погибнет. К счастью, в каждой отдельной галактике происходит

примерно одна такая вспышка в столетие, а наша галактика имеет в поперечнике тысячи световых лет, так что нам, скорее всего, пока ничего не грозит. Вынуждены, однако, вас огорчить: предсказать, когда сверхновая взорвется, невозможно.

Зато астрономы (как правило, мизантропы) обожают эти космические катаклизмы. Из сверхновых получаются отменные стандартные свечи, поскольку они: 1) невероятно яркие, а значит, их видно на очень солидных расстояниях; 2) взрываются примерно на одной и той же стадии развития (когда на поверхность белого карлика нападает достаточно вещества с красного гиганта), а значит, выглядят более или менее одинаково — следовательно, мы можем легко вычислить, на каком они расстоянии.



**АККРЕЦИЯ ВЕЩЕСТВА КРАСНОГО ГИГАНТА
НА ПОВЕРХНОСТЬ БЕЛОГО КАРЛИКА**

В 1998 году две группы исследователей под руководством соответственно Сола Перлмуттера и Адама Райсса вычислили расстояния до примерно 50 сверхновых, а поскольку они к тому же измерили красные

смещения, то не только узнали, насколько эти сверхновые далеко, но и выяснили, насколько Вселенная с тех пор расширилась.

Обе группы — одновременно и независимо — пришли к интереснейшим выводам. Вселенная не замедляется, что произошло бы, если бы в нее засунули кучу вещества. Более того, она ускоряется.

Эйнштейн пришел к примерно такому же заключению, когда задумал общую теорию относительности. Эйнштейн назвал это космологической константой, и если вы когда-нибудь занимались математическим анализом, то помните, что в интегралах бывает «плюс константа». Если вы никогда не занимались математическим анализом, то не много потеряли.

Эйнштейн придумал космологическую константу, чтобы сделать Вселенную статичной, и был очень смущен, когда Хаббл открыл, что она расширяется. Однако, невзирая на замысел, космологическая константа обеспечивается безупречной математикой, и когда были получены результаты по сверхновым, интерес к космологической константе вспыхнул с новой силой. Однако на сей раз константу стали считать «темной энергией», которая наводняет Вселенную.

Эйнштейн заменил, что газ под сильным давлением обладает более сильной гравитацией, чем газ без давления вообще. Это важно, поскольку с математической точки зрения темная энергия обладает отрицательным давлением, то есть ведет себя как своего рода антигравитация, и именно поэтому Вселенная и расширяется. Мало того, по мере расширения Вселенной плотность этой энергии не снижается. Это как будто бы у вас была резинка, которую вы бы растягивали, растягивали, растягивали, а она почему-то не становилась бы тоньше. Вот типичная ситуация, в которой здравый смысл подведет кого угодно.

Думаете, это как-то неправдоподобно? Да нет. Мы уже видели что-то подобное в главе 2. Помните, мы говорили, что Вселенная наполнена энергией вакуума, поскольку фотоны то появляются, то исчезают? Помните, что если растянуть или смять коробочку с вакуумной энергией, ее плотность останется прежней?

Да, конечно, на первый взгляд мы просто играем с формулами, так что, вероятно, вам станет спокойнее, если мы скажем, что этот эффект уже пронаблюдали. В 1948 году Хэнк Казимир из Лейденского университета отметил, что если взять две металлические пластины в вакууме и держать их на небольшом расстоянии друг от друга, они, как ни странно, начнут притягивать друг друга. А если пластины не заряжены электричеством, такого быть не должно. Все это обретает смысл, если мы предположим, что всю Вселенную пронизывает вакуумное поле. Поскольку электрические

поля исчезают внутри металлов, вакуумное поле между пластинами окажется слабее, чем снаружи, и в результате пластины притянутся друг к другу.

«Эффект Казимира» — одно из самых ярких и прямых свидетельств, что энергия вакуума и в самом деле существует и обладает в точности теми качествами, которые мы искали в темной энергии.



Это нас радует.

А огорчает нас другое — ответ на вопрос, сколько во Вселенной темной энергии. Поскольку материя и энергия эквивалентны (как мы видели в главе 1), мы можем спросить, какова плотность темной энергии, и выясним, что Ω_{DE} составляет около 72 % от космологических измерений. Мы написали *DE*, так как хотим напомнить, что говорим о темной энергии — *Dark Energy*. Это число должно нас обрадовать, поскольку если сложить плотность обычного вещества (Ω_B , около 5 %), темной материи (Ω_{DM} , около 23 %) и темной энергии (Ω_{DE} , около 72 %), то окажется, что общая энергетическая плотность во Вселенной обладает критическим Ω_{TOT} в 100 %. Из этого проистекает несколько пикантнейших следствий.

Так вот что нас должно огорчать! Если мы правильно понимаем эксперимент с металлическими пластинами в вакууме, значит, и

лабораторные эксперименты, и большинство теорий показывают, что энергии вакуума во Вселенной должно быть примерно 10^{100} раз больше, чем показывают космологические измерения.

Вот что для нас, физиков, и является «проблемой».

VII. Какова форма Вселенной?

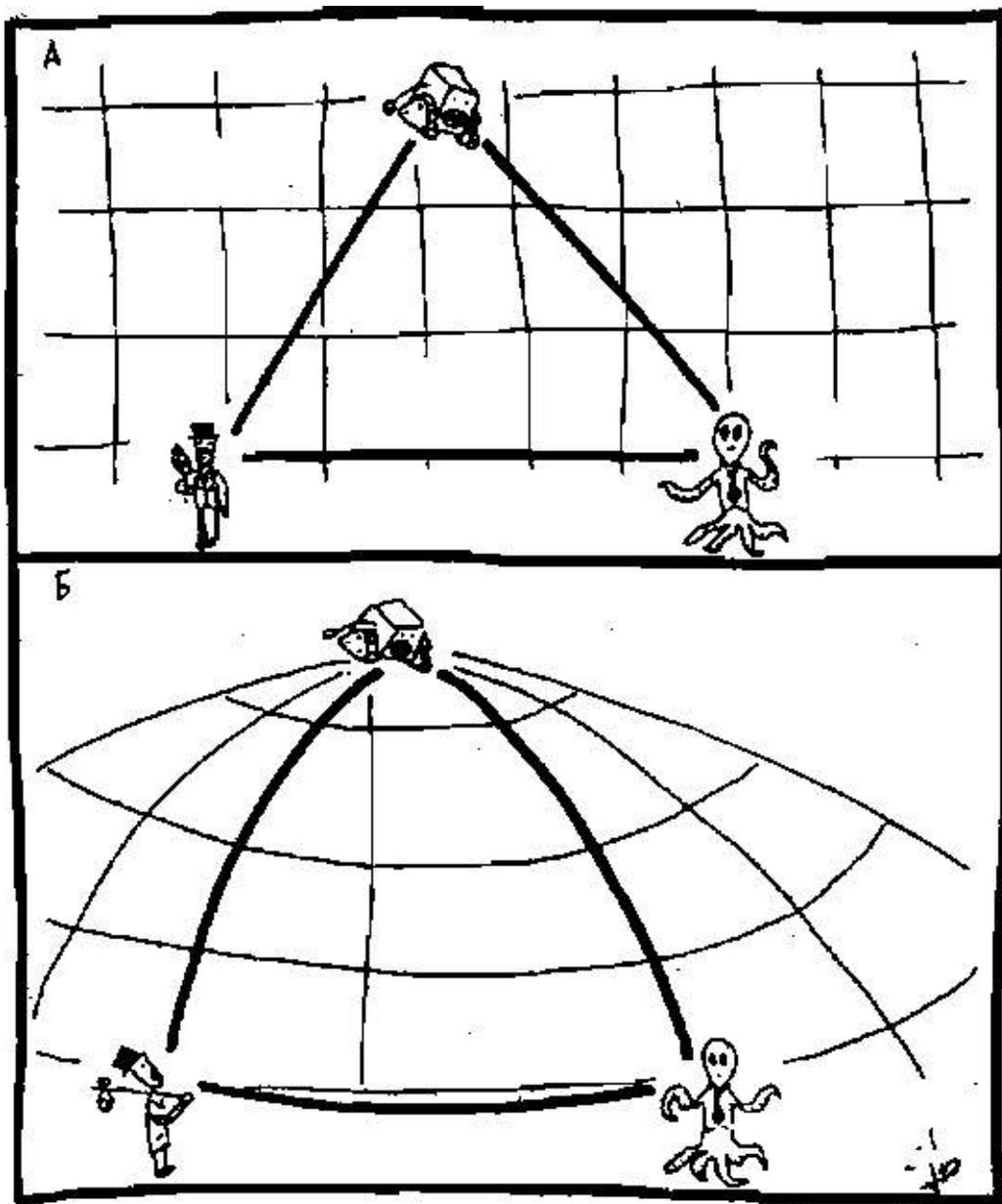
Мы придаем столько значения $\Omega_{\text{ТОТ}}$, поскольку плотность Вселенной не только говорит нам о том, как Вселенная будет развиваться, но и показывает, какой она формы.

Вот что мы имеем в виду. И Земля, и Тентакулюс VII, как мы уже говорили, занимают во Вселенной более или менее неподвижное положение. Далеко-далеко, в миллиарде световых лет от обеих планет, расположена цивилизация гиперразумных роботов кланконов под предводительством царя-астронома ХР-4. По чудесному совпадению в один прекрасный день Хаббл, ХР-4 и доктор Калачик одновременно получают изображения других двух звездных систем и измеряют угол между ними.

Погодите! При чем тут углы? Наверное, вы заметили, что, когда смотришь в ночное небо, трехмерной картины Вселенной не получается. Две соседние звезды могут быть действительно соседками, а могут оказаться рядом по случайности, потому что одна от нас далеко, а другая близко. На земле эти загадки легко решаются при помощи нашего волшебного бинокулярного зрения (благодаря тому что у нас два глаза, мы воспринимаем глубину пространства), но когда имеешь дело с далекими галактиками» то ничего не разобрать, поэтому единственное измерение, которое мы можем сделать при помощи простого наблюдения, — это угол, под которым расположены две звезды или галактики.

Продолжим наш извращенный эксперимент: все три цивилизации передают свои данные об углах друг другу. Теперь (ну, или через миллиард с чем-то лет) каждая из них знает величину внутренних углов равностороннего треугольника в пространстве.

Если нарисовать такой треугольник на листе бумаги, то заранее ясно, что каждый угол будет равен 60 градусам. Это схема того, что произошло бы в плоском мире, а мир был бы именно плоским, если бы $\Omega_{\text{ТОТ}}$ составляла ровно 100 %.. Хорошо жить в плоских вселенных — там вполне можно положиться на интуицию.



ПЛОСКАЯ (А) И ЗАМКНУТАЯ (Б) ВСЕЛЕННАЯ

Однако вселенная не обязательно должна быть плоской. Помните, что сказал нам Уилер, — что материя диктует пространству, как искривляться? Если $\Omega_{\text{ТОТ}}$ больше, чем 100 %, как это было бы, если бы во вселенной имелось гораздо больше вещества, космологи говорят, что вселенная «замкнута». На самом деле представить себе замкнутую геометрию проще простого. Она ведет себя практически как поверхность Земли. Если соединить три точки в треугольник, станет видно, что сумма его углов больше 180 градусов.

Извините за такое заумное геометрическое объяснение — просто нам хочется рассказать про наши треугольники еще одну пикантную сплетню. Возьмите галактику и поместите ее подальше от Земли в плоской вселенной, а затем (если существуют параллельные вселенные) проделайте то же самое в замкнутой вселенной. В замкнутой вселенной галактика покажется крупнее.

Пора устроить небольшой опрос. Если вселенные, в которых $\Omega_{\text{ТОТ}}$ больше 100 %, замкнутые, как вы думаете, как называются вселенные, в которых $\Omega_{\text{ТОТ}}$ меньше 100 %? Если вы ответили: «Открытые», мы завтрашней же почтой вышлем вам диплом кандидата наук. Как и ожидается, открытые вселенные обладают таким качеством, что далекие объекты в них кажутся меньше, чем в плоской вселенной.

В какой же вселенной мы живем? Если верить нашим космологическим наблюдениям, то в плоской или со крайней мере в почти совсем плоской. На практике нет никакой разницы между плоской и почти плоской вселенной. Это все равно что находиться на поверхности Земли. Земля, конечно, круглая, но в повседневной жизни об этом запросто можно забыть.

Замкнутые вселенные — единственный тип вселенных, имеющий границы. Мы не хотим сказать, что можно дойти до конца такой вселенной. Просто она как сфера — если долго-долго идти по ней, то в конце концов придешь туда, откуда вышел, но ни в какую границу при этом не упруешься.

С другой стороны, плоские (и открытые) вселенные принято считать бесконечными. Объяснить, что это на самом деле значит, не так-то просто, но в этом случае края у вселенной точно нет. Кроме того, это, вероятно, означает, что вселенная именно что бесконечна — в буквальном смысле. То есть по ней можно путешествовать вечно и не побывать дважды в одном и том же месте.

А может быть, и нет.

Общая теория относительности, в сущности, описывает так называемую геометрию вселенной. Если свернуть лист бумаги в трубку, он останется листом бумаги, то есть с геометрической точки зрения он по-прежнему «плоский». Все, что мы тут наговорили о треугольниках, справедливо для листа бумаги, скатанного в шар.

Не исключено, что вселенная свернута сама на себя, примерно как лист бумаги в трубку. Это называется «топология вселенной», и у нас нет ни одной физической теории, которая говорила бы, свернута вселенная или нет и если да, то как именно.

В принципе, доктор Калачик мог бы посмотреть в ночное небо и увидеть кланконскую звезду на противоположных сторонах небосвода. В 1998 году Нил Корниш из Университета штата Монтана и его сотрудники решили посмотреть, не наблюдается ли подобный феномен в виде сигналов на микроволновом уровне — то есть на уровне отголосков Большого взрыва. Нет, таких сигналов обнаружено не было. Это не означает, что вселенная не свернута, но если она свернута, то это происходит на масштабах куда дальше горизонта.

VIII. Куда расширяется Вселенная?

Может показаться, будто все эти разговоры о геометрии и динамике к делу не относятся. Однако теперь мы готовы разобраться, куда же на самом деле расширяется Вселенная. Беда в том, что общая теория относительности и наши наблюдения на этот вопрос не отвечают. Помните: физика говорит нам только о том, что происходит при определенных обстоятельствах, а не о том, как на самом деле устроена Вселенная на фундаментальном уровне. А у космологии вообще свои проблемы. Мы же в принципе наблюдаем только одну Вселенную. И если ответы вам не нравятся, вероятно, вы задаете неправильные вопросы.

Так вот, к сожалению, мы не можем дать вам определенного ответа на этот вопрос. Зато можем предоставить уйму поводов для размышления.

Итак, куда расширяется Вселенная? Выбирайте.

А. Никуда.

По нашему мнению, это самый лучший ответ. Если вспомнить о том, как устроена общая теория относительности, единственное, что определяет устройство пространства, — это метрика, то есть то, насколько отстоят друг от друга две точки. В результате никакого «вне вселенной» не существует. С этой точки зрения мы и писали данную главу. Можно лететь сколько угодно и так и не добраться до края. Даже ограниченная вселенная может быть свернута сама на себя.

Б. Неважно.

Мы понимаем, это не ответ. Но дело в том, что единственная наблюдаемая физика — это то, что происходит в пределах нашего горизонта. Вполне можно представить себе, что вне наблюдаемой Вселенной нет ничего, кроме полной пустоты, в которой нет никакой материи. Вероятно, там все фиолетовое в крапинку или плавают другие «островные вселенные», устроенные совсем не так, как наша.

Мы не знаем. Если это находится за пределами нашего горизонта, то и не узнаем никогда. Помните, что предположение Коперника о том, что в нас нет ничего особенного, предполагает, что Вселенная одна и та же, где бы ты ни находился, поэтому, вероятно, ничего интересного мы не пропускаем.

С другой стороны, Вселенная продолжает расширяться, и наши горизонты тоже раздвигаются, мы видим все больше и больше и все лучше и лучше понимаем, занимаем мы особое место во Вселенной или нет. В

определенных рамках.

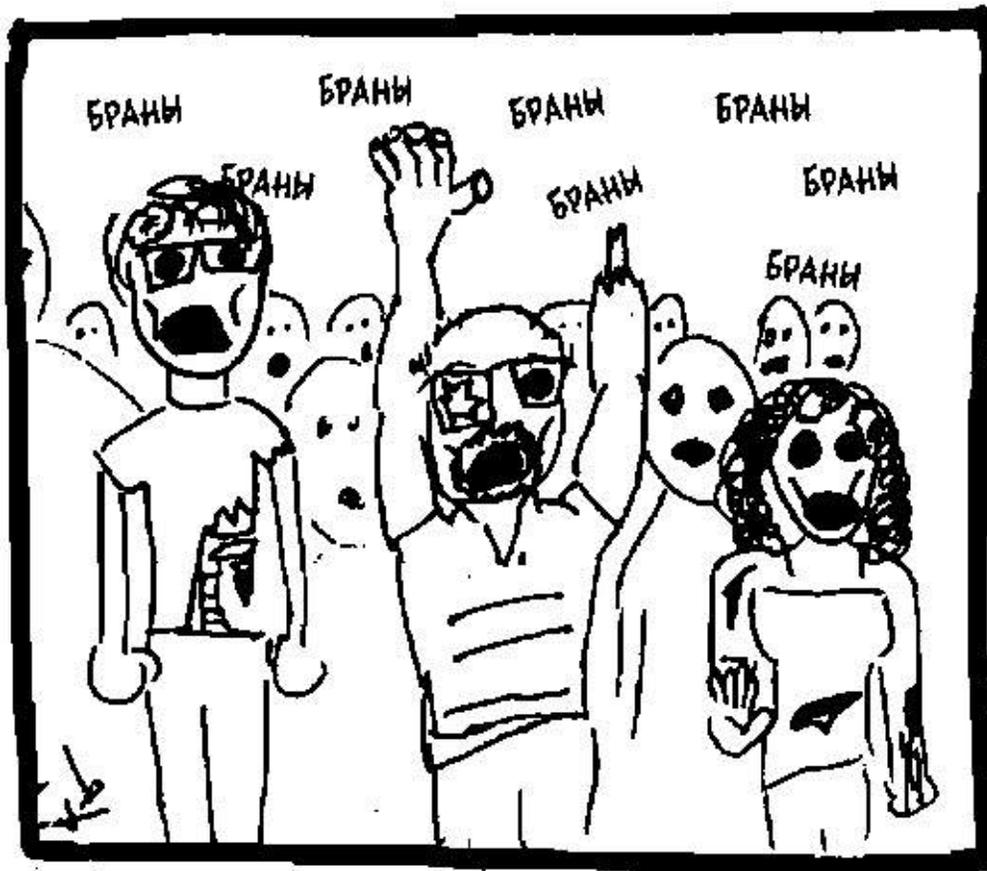
Случилось так, что в нашей Вселенной есть темная энергия, и хотя с течением времени обычная материя и темная материя проникают друг в друга все сильнее, темная энергия ни с чем не смешивается. Все это просто ускоряется, а значит, каждая конкретная точка в пространстве улетает от нас все быстрее и быстрее. А это значит, что в нашей Вселенной горизонт когда-нибудь совместится с некоторым максимально далеким горизонтом. Если дальше что-нибудь и есть, мы об этом никогда не узнаем.

В. Другие измерения?

Мы упоминали о вероятности того, что во Вселенной кроме привычных для нас измерений — вправо-влево, вверх-вниз и вперед-назад — есть и другие измерения. Конечно, еще одно измерение — это время, и в некотором смысле Вселенная расширяется и во время, но как физическая теория это ничего не дает.

В последние несколько десятилетий появился целый фейерверк моделей Вселенной, основанных более чем на трех пространственных измерениях, среди которых самая известная — теория струн, а самая сложная — М-теория, с которой мы познакомились в главе 4 и которая предполагает 10 измерений. Как вы помните, согласно теории струн, разница между частицами — чистой воды выдумка. По сути все частицы — это струны, и одна струна способна расщепиться на две, а две — слиться в одну^[105].

Однако М-теория, в частности, предсказывает существование более сложных структур. Если «струна» в теории струн на самом деле представляет собой одномерную структуру, М-теория опирается на существование более сложных — двух- и трехмерных — «бран» (сокращение от «мембран»). Отдельные частицы, например фотоны, «прилипают» к конкретной бране.



СТРУННЫЕ ТЕРРОРИСТЫ-ЗОМБИ

Для нас главное то, что Вселенная в целом, вероятно, представляет собой просто гигантскую трехмерную брану, а мы движемся вокруг в пространстве с более высоким числом измерений. Вероятно, рядом парят и другие «вселенные», но поскольку наши фотоны «заключены» в нашей собственной бране, а их фотоны — в их бране, мы их не видим. М-теория предполагает, однако, что мы в состоянии их почувствовать — или по крайней мере ощутить их гравитационное воздействие, — а еще эти браны время от времени случайно сталкиваются, от чего наша «вселенная» погибает и возрождается.

В этом смысле наша Вселенная, наша «брана», возможно, на самом деле движется во вселенную с более высоким количеством измерений.

Итак, в конечном итоге Вселенная, по всей видимости, расширяется в никуда. Конечно, еще может оказаться, что то «вовне», куда мы расширяемся (или по крайней мере движемся), — это более высокие измерения, которые мы, вероятно, не в состоянии воспринять непосредственно. Ну что, достаточно «головокружительная картина

Вселенной»?

Глава 7. БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

ГЛАВА 7



БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

ib

Что было до Большого взрыва?

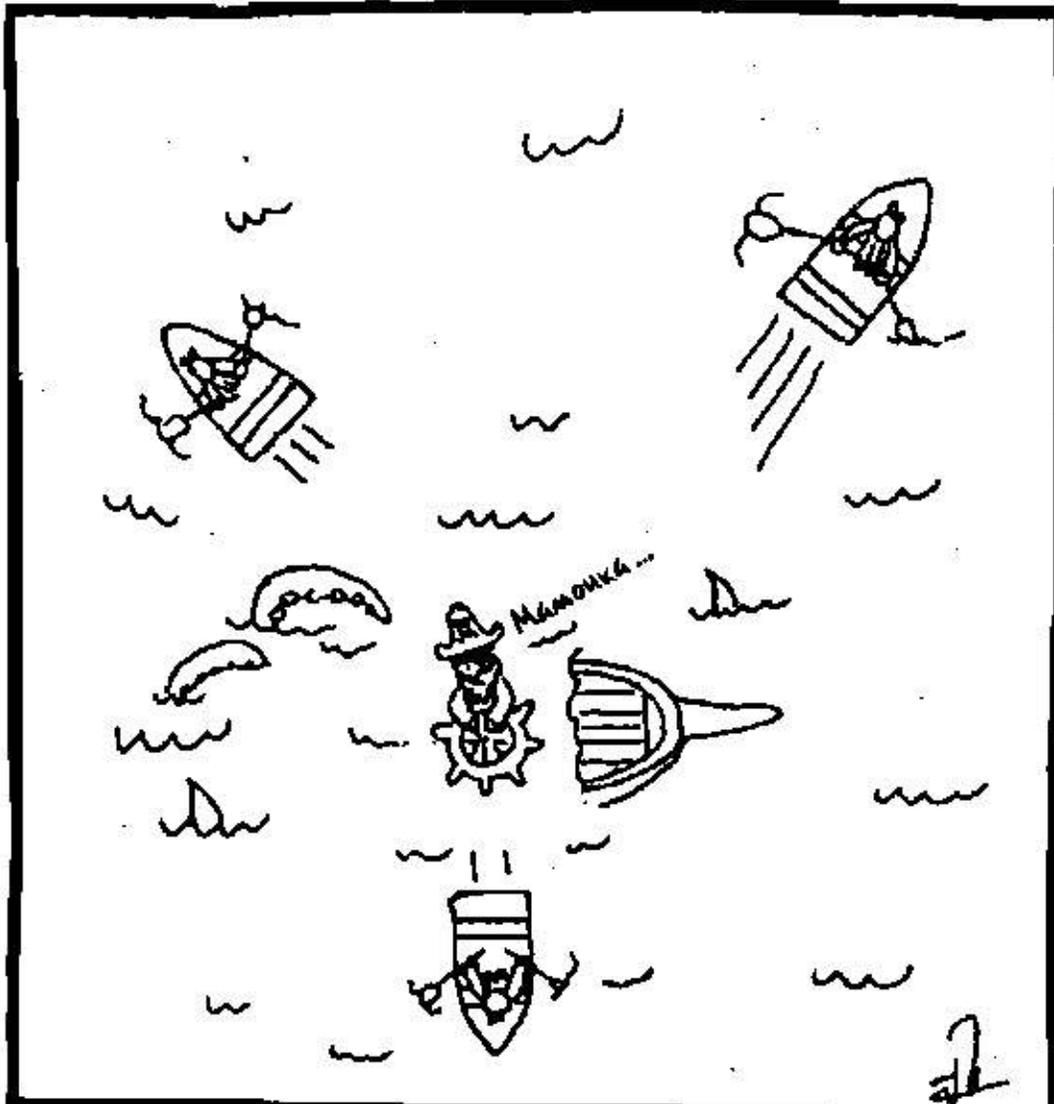
У нас, создателей «Руководства», детей пока что нет, но мы об этом слышали. Один из самых неловких диалогов с маленькими детишками (по крайней мере нам так говорили) начинается с того, что крошка Билли спрашивает: «Откуда я взялся?» Но этот день, если он, конечно, наступит, не застанет нас врасплох: у нас уже готов план. Мы собираемся протянуть

время, начав с самого начала^[106], а речь поведем о пиратах, поскольку детишки обожают пиратов.

Кроме того, мы хотели бы польстить себе мыслью, что уж наши-то детки будут понимать сложные вопросы вроде расширения Вселенной, Всеобщей теории всего и происхождения материи еще в колыбельке. Нет уж, никакого сюсюканья, а только зарождение Вселенной и приключения в бурных морях!

Хотя мы могли бы начать с самого начала и добраться до нынешнего момента в хронологическом порядке, на самом деле разумнее было бы объяснить происходящее задом наперед. Наша история начнется с конца и расскажет, как мы дошли до жизни такой. Наш бравый капитан пиратского судна по прозвищу Кровавая Борода только что потерпел сокрушительное поражение от испанской армады и героически утонул вместе со своим кораблем. Некоторые его матросы оказались не такими храбрыми и спаслись в шлюпках, а теперь распливаются во все стороны. Одни гребут быстро, другие медленно.

Большой взрыв



Наблюдатель, прибывший на место происшествия с опозданием, увидит только спасательные шлюпки (поскольку Кровавая Борода уже давно оказался в гостеприимных объятиях Дейви Джонса), но если он (наблюдатель) достаточно умен, то сообразит, что все они распливаются из одной точки. Отметив, на какое расстояние успели отплыть трусливые пираты, наблюдатель даже сможет сказать, давно ли произошла битва.

Все это, как вы понимаете, метафора. На самом деле шлюпки — это галактики, а как мы видели в последней главе, почти все галактики разлетаются друг от друга. Разумно предположить, что когда-то в незапамятные времена галактики буквально сидели друг у друга на голове

— примерно как шлюпки на пиратском судне.

Как и во всех сказках, в нашей пиратской истории есть не только зерно правды, но и вопиющие противоречия. Было бы очень просто сказать, будто галактики расплываются от некоей общей точки в пространстве, — но мы не можем пойти на такую ложь. Зато можем сказать вот что: Большой взрыв произошел повсюду и одновременно. Это очень важно, поскольку почти все, а не только крошка Билли, уверены, будто Большой взрыв произошел в каком-то определенном месте. Та же история, как мы видели в главе 6, произошла и с расширением Вселенной: это пространство расширяется, а галактики на самом деле стоят на месте.

В нашей истории есть и еще одна деталь, которую мы пригладили и завуалировали. Вселенная не создавалась сразу готовенькой, со встроенными галактиками. Поначалу были всего-навсего газ и темная материя. Это все равно что трусливые пираты покинули бы тонущий корабль с коробками из ИКЕА и, покачиваясь на волнах, потихоньку собирали бы свои шлюпки. Главный инструмент в наборе «Сделай сам галактику» — это гравитация^[107].

Из главы 2, если не из школьного курса физики, вы запомнили, что вся материя во Вселенной притягивается друг к другу. Вскоре после Большого взрыва получилось так, что в отдельных областях пространства оказалось больше материи, чем в других, и если бы мы понаблюдали над небольшим комочком материи, который был чуточку плотнее среднего, то увидели бы кое-что интересное. Близлежащий газ и темная материя притягивались бы к нашему комочку, и он постепенно становился бы все больше и больше и в конце концов превратился бы в галактику — совсем как те, которые мы наблюдаем сегодня.

Но в главном мы вас не обманули: все атомы (и темная материя, и темная энергия), из которых состоит все, что мы видим (и не видим), изначально были навалены в одну громадную кучу, а теперь нам надо объяснить, что произошло с тех пор и по сей день. Начали мы со вселенной, которая была бесконечно мала. Так что можете смело объяснить крошке Билли, откуда он взялся: он появился в результате Большого взрыва^[108].

Но крошка Билли развит не по годам и обязательно заметит, что мы на самом деле не ответили на его вопрос. Если причина возникновения Вселенной — это Большой взрыв, то что стало причиной Большого взрыва? Но мы покроем вопрос крошки Билли козырной картой: разве мы уверены, что Большой взрыв вообще был? Наблюдать его, похоже, было некому.

Более того, даже хотя мы можем заглянуть в прошлое, наблюдая все более и более далекие объекты, Большого взрыва мы не видим, так что доказательства у нас только косвенные. Именно поэтому мы и начали разговор с того, что знаем наверняка.

По самым точным оценкам, основанным на расширении Вселенной, она насчитывает 13,7 миллиарда лет, и в данный момент пространство в основном пусто, о чем мы и говорили в предыдущей главе. Однако пространства ужасно много, и по нему разбросано ужасно много вещества — оно просто сильно рассеяно. Помимо темной материи, темной энергии, звезд, пыли и газа, с которыми вы уже знакомы, Вселенная битком набита светом. Да, конечно, на вид она темная, и вас, вероятно, обманом заставили считать, будто весь этот свет происходит от ярких светлых объектов вроде Солнца. Не дайте себя одурачить! Вклад звездного света (в том числе и солнечного) в общий свет во Вселенной ничтожно мал. На каждый атом во Вселенной приходится около миллиарда фотонов, и эти фотоны — или подавляющее их большинство — зародились почти что в начале времен. Несмотря на то, что фотоны кругом так и роятся, мы их почти никогда не замечаем, поскольку» хотя фонового излучения очень много, оно обладает крайне низкой энергией. Это следствие того факта» что все разгоряченные тела излучают свет^[109], даже если глазом его не видно.

Солнце, температура на котором составляет около 5800 градусов выше абсолютного нуля^[110], светится видимым светом.

Люди при комнатной температуре светятся инфракрасным светом. Вселенная при температуре около 3 градусов выше абсолютного нуля светится в микроволновом (радио) диапазоне, и мы довольно долго не подозревали о существовании этого излучения.

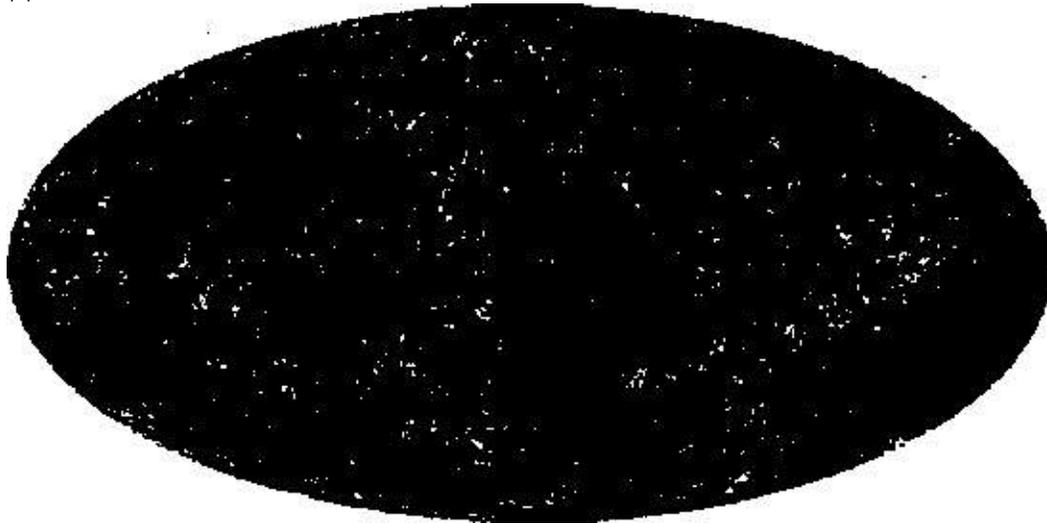
В 1964 году Арно Пензиас и Роберт Уилсон работали в лабораториях Белла над разработкой первых образцов спутниковой связи. Включив свои приемники, они зарегистрировали интерференцию — но поступивший сигнал БЫЛ НЕ ИЗ НАШЕГО МИРА. Радиоприемник зафиксировал постоянный шум, который не исчезал, куда бы ни направляли антенну. Внеземной сигнал который услышали исследователи, и был микроволновым излучением ранней Вселенной.

В старые времена (лет десять назад) вы бы могли засечь это излучение безо всякого специального оборудования. Когда большинство телевизоров получали сигнал через радиоволны; примерно 1 % шума на каждом канале, где не было сигнала, приходился на долю первобытного излучения. Теперь, когда все переведено в цифровой формат, повторить опыт Пензиаса и

Уилсона при помощи своего телевизора уже невозможно. Да и незачем. Они свою Нобелевку уже получили.

Фоновое излучение имеет практически постоянную температуру, какой участок неба ни возьми. Практически, но не совсем. Если сравнивать температуру малюсеньких участков неба, излучение окажется чуть теплее или чуть холоднее — пусть и в пределах нескольких миллионных долей градуса.

В 2001 году НАСА запустило Уилкинсоновский датчик микроволновой анизотропии (WMAP) с целью исследовать мозаику «горячих» и «холодных» участков во Вселенной, и ниже мы приводим полученную карту. Она похожа на обычную карту Земли, которую вы, наверное, видели в атласе, с тем исключением, что вы стоите не на поверхности глобуса — представьте себе, что вы стоите в середине, а карта показывает, как выглядит небо.



Перед вами — детская фотография Вселенной. Вы думали, нет ничего хуже капризного ребеночка в фотоателье? Так вот эту фотографию делали пять лет и потратили на нее около ста сорока миллионов долларов. В отличие от детишек, Вселенная растет отнюдь не на глазах, — тогда зачем же вообще было делать это фото?

Взгляните на светлые и темные крапинки. Это области, где фоновое излучение чуть холоднее или чуть теплее среднего. Наше «чуть», повторяем, — это различие в одну стотысячную, а то и миллионную долю. Однако мы завели этот разговор не из праздного интереса. Давным-давно, на заре Вселенной, крошечные колебания температуры соответствовали крошечным колебаниям плотности атомов и темной материи. Чуть более плотные участки стали зародышами галактик, о которых мы говорили

ранее.

Присмотреться к фоновому излучению стоит и еще по одной причине. Чем дальше мы заглядываем в прошлое, тем меньше становится Вселенная. Это значит, все на свете — фотоны, атомы, темная материя — будет сползаться все ближе и ближе друг к другу, а Вселенная в целом станет все более и более насыщена энергией. Вклад фотонов становится особенно важным, именно когда мы заглядываем в прошлое, поскольку, когда Вселенная становится меньше, длины волн отдельных фотонов тоже уменьшаются. Это мы видели в главе 6, когда говорили о «красном сдвиге», происходящем из-за расширения Вселенной. Коротковолновой свет означает, что раньше у каждого фотона было больше энергии. Получается, что раньше не только сахар был слаще и небо голубее, но и излучение плотнее и фотоны энергичнее.

Главный вывод из всего этого таков: чем дальше мы заглядываем в прошлое, тем горячее становится Вселенная и тем выше относительный вклад фотонов в общую энергетическую плотность. Поэтому, например, когда размер Вселенной был всего 1 % от нынешнего, то есть примерно через 17 миллионов лет после Большого взрыва, во всей Вселенной царил комнатная температура. А до этого... здесь начинается самое интересное.

I. Почему мы не можем проследить все развитие Вселенной до самого Большого взрыва?

Комбинация ($t = 380\,000$ лет)

Давным-давно, в главе 4, мы говорили о частях атомов и упоминали о том, что водород, самый простой атом, сделан из протона, окруженного электронным облаком. Водород — не только самый простой, но и самый распространенный элемент. Сегодня, как и в ранней Вселенной, водород составляет около 93 % всех атомов. При комнатной температуре водород без электрона не встречается. Однако при высоких температурах, например, внутри Солнца или в ранней Вселенной, атомы подвергались постоянной бомбардировке крайне высокоэнергичными фотонами.

Представьте себе, что капитан Кровавая Борода — это протон. Ни один уважающий себя пират не сочтет свой костюм завершенным без попугая на плече, так вот, пусть попугай — это электрон. Ранняя Вселенная очень похожа на напряженную битву в открытом море. Мимо Кровавой Бороды то и дело свистят пушечные ядра (фотоны), и то и дело его попугая — бац! — сшибают с плеча. Не волнуйтесь, все обойдется, они оба будут целы и невредимы. Разумеется, пираты и попугаи неразлучны, словно булка с колбасой, так что не пройдет и нескольких минут, как на плечо Кровавой Бороде спорхнет другой попугай.



Между тем во время сражения по всему полю битвы летают попугаи и ядра, попугаи и ядра. Во-лее того, самим кораблям ничего не угрожает, поскольку ядра, как правило, сшибают летящего попугая, не успев натворить беды. Но всему приходит конец, даже пиратским сражениям. Ядра перестают летать, а попугаи, устав от бесконечных полетов, присаживаются на плечи — по птице на пирата, как и предназначено природой.

Вот как все было в настоящей Вселенной. Примерно через 380 тысяч лет после Большого взрыва во Вселенной царил страшная жара — 3000 градусов по Цельсию, — а сама Вселенная была всего в $\frac{98}{1200}$ своего нынешнего размера. Мы выбираем именно этот момент и договоримся называть его «комбинацией»^[111], поскольку именно в этот миг все изменилось.

До комбинации во Вселенной было так жарко, что практически не существовало нейтральных атомов водорода — по Вселенной носились лишь отдельные протоны и электроны, словно смешанный рой ядер и попугаев. Все детали были в наличии, но шныряли туда-сюда, как безумные. Фотоны постоянно сталкивались, поглощались и снова испускались. При всех этих столкновениях они не могли долго лететь в

одном направлении — их быстро отбрасывало в другую сторону. Даже если бы вы, например, жили спустя 350 тысяч лет после Большого взрыва, то страдали бы близорукостью, поскольку для того, чтобы видеть, нужно, чтобы свет прошел по прямой от предмета до вашего глаза^[112].

А после комбинации Вселенная остыла до такой степени, когда фотоны уже не могли отрывать электроны от их протонов, и быстро-быстро начал образовываться обычный нейтральный водород. Все углы и закоулки внезапно оказались набиты нейтральным веществом, а фотонам стало не с кем играть. Фотоны любят заряженные частицы, а нейтральные — не очень. И теперь фотоны стали летать вечно по пустой-пустой Вселенной, пока некоторые из них, особенно везучие, не попали 13,7 миллиарда лет спустя в радиоприемник на Земле или на Тентакулюсе VII.

Поскольку «заглянуть» во времена до комбинации мы не в состоянии, то о самой ранней Вселенной мы можем судить лишь по остаточному излучению, которое летает повсюду, и по всему, что мы видим в звездах, галактиках и скоплениях вокруг нас в наши дни. Как выясняется, если присовокупить к этим наблюдениям кое-какие физические соображения, кусочки мозаики отлично складываются в цельную картинку.

II. Разве Вселенная не наполнена (до половины) антиматерией?

Говорят, нет ничего хуже полужнания, но в этом случае его как раз хватает. Напомним вам два важных факта, а затем выжмем из них все возможное [\[113\]](#), чтобы описать происходившее в ранней Вселенной. Итак, напоминаем:

1. $E = mc^2$.

2. Если столкнуть частицу с античастицей, они обе будут уничтожены и превратятся в высокоэнергичные фотоны. Сколько именно у них будет энергии? См. выше факт № 1.

Если электрон и позитрон (или любая частица с античастицей) способны сталкиваться друг с другом и превратиться в свет, обратное тоже может случиться — фотоны, сталкиваясь друг с другом, создают позитрон и электрон. Или, если уж на то пошло, могли бы создать протон и антипротон. Только поди их поймай.

Создание частиц происходит, только если энергии фотонов достаточно высоки. Чтобы сделать электроны, нужно много энергии, но чтобы сделать протоны и нейтроны и их античастицы, энергии нужна просто прорва, поскольку массы у них гораздо больше.



Но постойте! Если вы внимательно следили за ходом нашей мысли, то заметили, что космический бульон кишмя кишел высокоэнергичными фотонами — настолько энергичными, что они могли создавать тяжелые частицы. Они повсюду. В ранней Вселенной постоянно создавались с нуля большие тяжелые частицы и античастицы: кварки с антикварками, мюоны с антимюонами, электроны с позитронами — в общем, сами понимаете. Но

время не стоит на месте, и при этом фотоны становятся менее энергичными, а это значит, что можно создавать все менее и менее массивные частицы и античастицы, а в конце концов они вообще перестают получаться. Примерно это и происходит сегодня.

Проиллюстрируем это числами: когда Вселенная насчитывала от роду около одной миллионной доли секунды, она остыла до температуры примерно 10 триллионов градусов Цельсия. Это сокрушительно горячо — гораздо горячее, чем нынешние температуры даже в центрах звезд. Даже настолько энергичные фотоны все равно уже ослабели настолько, что не могли производить протоны с антипротонами и нейтроны с антинейтронами. Однако при столкновении двух фотонов по-прежнему хватало энергии на производство кучи всякой всячины — в том числе электронов и позитронов, — и эта всякая всячина производилась целых пять секунд после Большого взрыва.

Только подумайте, Вселенная-то, оказывается, вундеркинд! Почти все, что касается сотворения материи, она проделала в первые пять секунд после рождения. Мы в ее годы только пиццали и писались, а она уже создавала все вещество, которое нам понадобится в жизни.

Есть и еще одна тонкость, которая на поверку оказывается очень важной. Когда фотоны сталкиваются, то создают частицу и античастицу, а частица и античастица полностью уничтожают друг друга и создают фотоны. Пока что, насколько мы видели, нет ни одного взаимодействия, при котором создается или уничтожается только частица, без античастицы. Из этого следует, что нельзя создать протон без антипротона или электрон без позитрона. А значит, частиц и античастиц, то есть материи и антиматерии, во Вселенной всегда должно быть строго поровну.

Если вы не понимаете, в чем тут сложность, мы бы попросили вас объяснить, как так вышло, что мир состоит исключительно из материи. И ведь не только Земля. Если бы Луна состояла не из обычной материи, бедняга Нейл Армстронг был бы покойник, стоило ему коснуться поверхности в своем модуле «Орел». Солнце тоже состоит из обычной материи, как и все остальные звезды в нашей Галактике. Если бы это было не так, то космические лучи, бомбардирующие Землю, производили бы уйму антипротонов — а это не так.

А вдруг существуют галактики, состоящие из антиматерии? Вполне вероятно. Только галактики то и дело сталкиваются друг с другом, а мы никогда не видели внегалактического столкновения, при котором выделилось бы столько чистой неукротимой энергии, сколько получилось бы, если бы галактика из материи столкнулась с галактикой из

антиматерии. Короче говоря, по всему выходит, что наша Вселенная состоит только из материи. Так вот, если материя и антиматерия создаются и уничтожаются в равном количестве, почему у нас оказалось столько лишней материи?

Во-первых, мы должны кое в чем признаться. На самом деле мы не знаем, чем объяснить такой дисбаланс, но чем бы он ни был вызван, этот процесс произошел почти сразу после большого взрыва, когда энергии были очень высоки. Однако хотя мы не можем объяснить, откуда взялась асимметрия, зато можем объяснить, насколько она велика. В самом начале во Вселенной было примерно миллиард один протон на миллиард антипротонов и примерно столько же фотонов. Затем, когда Вселенная остыла настолько, что протоны уже не могли создаваться, каждый миллиард антипротонов был уничтожен вместе с миллиардом протонов, после чего остался всего один протон на каждый миллиард фотонов, и это соотношение мы и наблюдаем сейчас.



Что же изменилось с тех пор и до наших дней? Почему в те далекие времена нейтроны могли превращаться в протоны, а мы не можем это сделать, не создав тут же еще и антипротон или антинейтрон? Почему раньше так не было?^[114]

III. Откуда берутся атомы?

Рождение элементов (t = 1 секунда — 3 минуты)

Мы уже очень далеко уклонились от первоначального вопроса крошки Билли «Откуда я взялся?»^[115], зато теперь готовы дать на него ответ получше.

Сначала надо рассказать малышу, из чего он на самом деле сделан. Как вы прекрасно знаете, мальчики сделаны «из колючек, ракушек и зеленых лягушек», а те, в свою очередь, состоят из углерода, водорода, кислорода и других атомов.

Это привычное вещество собирательно называется барионной материей, а это всего-навсего научное название всего, что состоит из протонов и нейтронов. Если мы составим список элементов, составляющих большую часть массы, то сразу увидим старых приятелей:

- Водород (75 %) — 1 протон.
- Гелий (23 %) — 2 протона, 2 нейтрона.
- Кислород (1 %) — 8 протонов, 8 нейтронов.
- Углерод (0,5 %) — 6 протонов, 6 нейтронов.
- Неон (0,13 %) — 10 протонов, 10 нейтронов.

Учить этот список наизусть вам не нужно, но в нем прослеживается очевидная закономерность. У всех самых популярных элементов, за исключением водорода, количество нейтронов равно количеству протонов. Существует даже разновидность водорода под названием дейтерий, у которого один протон и один нейтрон, и хотя его распространенность составляет всего около одной стотысячной обычного водорода, он все равно сыграет в нашей истории очень важную роль.

Если мы чего-то стоим как профессионалы, то способны не просто учинить краткий обзор содержимого Вселенной, но и объяснить, откуда берутся эти цифры, и сделать все необходимое, чтобы перевести часы на одну секунду после Большого взрыва. До сих пор мы делали скачки, достаточно длинные по сравнению, скажем, с тем временем, которое мы способны удерживать внимание читателей, но чем дальше мы углубляемся, тем короче становятся наши прыжки (как и положено). Представьте себе, что с первой до десятой секунды жизни Вселенной произошло столько же

важных физических событий, сколько с миллиарда до десяти миллиардов лет ее биографии.

В возрасте одной секунды Вселенная была раскалена до 15 миллиардов градусов по Цельсию, примерно в тысячу раз выше, чем температура в центре Солнца. И все равно в это время фотоны уже остыли настолько, что не могли создать протон или нейтрон, даже если бы захотели. Но между протоном и нейтроном не такая уж большая разница, как принято думать, — примерно как между капитаном Кровавая Борода и бестрепетным морским офицером, с которым он сражается. Превратить протон в нейтрон проще простого — достаточно пухнуть по нему антинейтрино. Если хотите, можно сделать и наоборот. Возьмите нейтрон и нейтрино — вуаля, получаются протон и электрон, главное — чтобы заряд сохранялся.

Легко сказать, трудно сделать: при нормальных обстоятельствах, стоит нам запустить нейтрино в протон, нейтрон, капитана Кровавая Борода или даже в свинцовую проволоку длиной в один световой год, в результате, скорее всего, не получится ровным счетом ничего. На самом деле нейтрино не любят взаимодействовать с другими частицами, если их не заставить, а когда они это делают, то при помощи слабого взаимодействия. Как скажет вам любой лингвист, слабое взаимодействие — оно и есть слабое.

Однако до одной секунды после Большого взрыва (п. Б. в.) все было такое плотное, а нейтрино — такие энергичные, что нейтрино и антинейтрино постоянно бомбардировали протоны и нейтроны соответственно и превращали их один в другой, отчего соблюдалось приблизительное равновесие. Условно приблизительное, так как протоны легче, нейтронов, а поскольку природа предпочитает держать энергию на самом низком уровне, протонов было намного больше, чем нейтронов.

После одной секунды п. Б. в. расстояния между частицами стали слишком велики, и энергии нейтрино стали слишком низки, уже не было никакой речи ни о каких протонах и нейтронах, и нейтрино просто жили себе припеваючи, и больше о них никто ничего не слышал. Но не попадайтесь на эту удочку — подобно фотонам после комбинации, они по-прежнему среди нас. Просто мы о них как-то забываем. А зря, поскольку они сделали на ранних этапах одну очень важную вещь — обеспечили приблизительный баланс протонов и нейтронов. Когда нейтрино ушли на покой, протоны, нейтроны и фотоны затеяли сложный танец слияния и разделения, в ходе которого:

- 1) нейтроны, протоны и дейтерий налетали друг на друга, создавая таким образом все более и более тяжелые элементы;

2) с другой стороны, высокоэнергичные фотоны разбивали атомные ядра.

Оставшиеся холостыми, нейтроны в конце концов махали рукой на свои холостяцкие принципы^[116] и распадались на протоны.

Все это время Вселенная становилась все более и более диффузной и остывала, отчего вышеописанный процесс приходилось завершать в крайней спешке. Когда танец начался, нейтронов было почти столько же, сколько и протонов, так что если бы атомы формировались очень быстро, то все нейтроны нашли бы себе пару, и самым распространенным элементом был бы гелий. Гелий — самый простой атом, в котором есть нейтроны, у него равное количество нейтронов и протонов, и он очень и очень стабилен. Не правда ли, вы догадывались, что все эти разговоры о «балансе» — отнюдь не праздная болтовня?

Нам повезло: протоны и нейтроны не стали сохранять баланс, поскольку иначе Вселенная была бы очень скучной. Почему? А вы попробуйте сделать из гелия что-нибудь стоящее. А мы вам пальто подержим.

Так вот, после большого взрыва у нас в распоряжении оказался не только гелий. Главная причина, по которой это произошло, заключалась в том, что весь процесс занял несколько минут, за которые многие нейтроны решили из карьерных соображений превратиться в протоны. Они распались и ни о чем не жалели. Поэтому нейтронов для танцев оказалось маловато, и оставшимся протонам пришлось танцевать шерочка с машерочкой. Вот почему у нас так много водорода.

Мы вас со всей определенностью заверили, что на каждый миллиард фотонов приходится только один барион. Измерить количество фотонов мы можем очень точно, поскольку просто подсчитываем всю энергию, которая исходит из фонового космического излучения. Подсчитать количество барионов, с другой стороны, труднее. Для начала рассмотрим гелий. Элементы нельзя создать разом, надо делать это по частям. Это значит, что, для того чтобы сделать гелий, надо сначала добавить протон к нейтрону и получить дейтерий — это крепыш-братец водорода. Получившиеся атомы дейтерия (так называемые дейтероны — ведь у них нет электронов) можно сливать с протонами, нейтронами, а также с другими единомышленниками-дейтерионами. Процесс идет некоторое время, а затем все остывает, и все протоны и нейтроны оказываются скованы в стабильные элементы.

А что если мы решим взять да и сделать вселенную, которая была бы почти совсем идентична нашей, но поместим в нее изначально вдвое больше барионов? В первые несколько минут наша вселенная в пробирке

будет заселена даже гуще, чем наша. Будет очень быстро создаваться дейтерий, а он, в свою очередь, начнет врезаться в протоны и другие дейтероны, выводя их из строя. Если проследить развитие событий до конца, окажется, что чем больше в искусственной вселенной барионов, тем меньше дейтерия (незначительно) и тем больше гелия (немного).

Если немного поиграть с начальными условиями, вся химия окажется совсем другой, а мы, измерив, сколько у нас дейтерия, сможем подсчитать все барионы во вселенной и к тому же сделать точные оценки количества остальных элементов. Так что все, что нам нужно, — это узнать, насколько распространен дейтерий, а тогда мы сможем вычислить, сколько у нас всего барионной материи. Если рассмотреть самые старые звезды и измерить отношение количества дейтерия к количеству обычного водорода, окажется, что на каждую сотню тысяч атомов водорода приходится примерно один атом дейтерия.

Если мы достанем тот листок бумаги, на котором проделывали все вычисления, то увидим, что Ω_b обычного вещества (то есть не темной материи) составляет около 5 %. Если это число смутно вам знакомо, то дело в том, что оно совпадает с той массой, которую мы получаем, когда суммируем массу, наблюдаемую в звездах и газе.

Вот это да! Мы одним махом показали, что наша модель возникновения элементов если и не правильная, то по крайней мере невероятно аккуратная и подтверждает те данные, которые мы получили непосредственно от галактик. Мы точно знаем, что происходило через одну секунду п. Б. в. и сколько во Вселенной обычной материи. Эта модель даже немного (но ощутимо) зависит от удивительных вещей — например, от того, сколько существует разных типов нейтрино. Их три, и наши вычисления это подтверждают. Благодаря той же модели мы можем точно предсказать количество микроэлементов вроде лития или гелия-3, каждый из которых наблюдается именно в том количестве, которое соответствует нашей модели.

Но не надо стараться прыгнуть выше головы. Если после большого взрыва были созданы только водород, гелий, дейтерий и несколько других очень легких элементов, откуда взялось все остальное? Откуда взялась основа всего живого — углерод с кислородом? Ведь крошку Билли уж точно нельзя было бы сделать из вещества, получившегося в результате Большого взрыва. Все более тяжелые элементы — углерод, кислород, золото и все прочее — создается в звездах. Когда самые массивные звезды вспыхивают и превращаются в сверхновые (о чем мы говорили в главе 6),

эти тяжелые элементы так и выстреливают во Вселенную — и в конце концов составляют всякую всячину вроде нас с вами, пиратов и крошки Билли.

IV. Каким образом частицы набирают весь свой вес? Золотой век кварков

($t = \text{от } 10^{-12} \text{ до } 10^{-8} \text{ секунды}$)

Заглядывая все дальше в прошлое, мы наблюдаем общую тенденцию. Вселенная становится все горячее и горячее, частицы — все энергичнее и энергичнее, а это обычно означает, что они движутся все быстрее и быстрее. По большей части все происходит довольно плавно, но иногда приключаются и резкие скачки.

Вот, например, поговорим о том, что происходило, когда Вселенной было отроду около 10^{-12} секунд. До этого времени температуры были настолько чудовищно высоки, что частицы Хиггса, с которыми мы в последний раз виделись в главе 4, не могли сконденсироваться в *свое* нынешнее состояние частиц. В результате до этого момента (если 10^{-12} секунд можно с полным правом назвать моментом) ни одна из частиц не обладала массой. Для некоторых частиц вроде электронов и нейтрино набор массы был не слишком важным делом, поскольку они и так довольно миниатюрны. Даже после появления частицы Хиггса они все равно шныряли по Вселенной со скоростью, близкой к скорости света.

Но другие частицы, например W и Z (переносчики слабого взаимодействия), предавались набору массы со всей серьезностью. До того как Вселенной исполнилось 10^{-12} секунд, частицы W и Z почти ничем не отличались от фотонов. На самом деле это означает, что не было никакой разницы между электромагнетизмом (фотоны) и слабым взаимодействием (W и Z), так что эти силы объединялись в одно «электрослабое» взаимодействие.

Что же изменилось? Между «иметь массу» и «не иметь массы» есть большая разница, причем безо всякого плавного перехода. В главе 6 мы упоминали о том, что пустое пространство совсем не такое пустое, как выдумали. Оно битком набито энергией и постоянно занято созданием и распадом частиц. Это и есть та «энергия вакуума», которая вызывает эффект Казимира, а возможно, и ускорение Вселенной в наше время. Кроме того, это основа, на которой происходят все взаимодействия частиц.

Примерно в 10^{-12} секунд вакуум перешел из высокоэнергичного в низкоэнергичное состояние, — вот почему законы физики тоже изменились. Именно поэтому все W , Z и частицы Хиггса знают, что должны или иметь массу, или обеспечивать ее, или и то и другое. Когда вакуум перешел из одного состояния в другое, была отчасти утрачена столь дорогая нам симметрия, и слабое и электромагнитное взаимодействия разделились.

Это главная тема в эволюции Вселенной. Сегодня в природе существует четыре различные силы, но это слишком много и довольно-таки запутанно.

В главе 4 мы отметили, что одна из главных надежд физики — сформулировать единую Теорию Всего, которая одним законом объединит все четыре силы. Эйнштейн посвятил большую часть последних лет своих ученых занятий попыткам унифицировать все фундаментальные силы, известные в его время (то есть только гравитацию и электромагнетизм), но у него практически ничего не вышло.

Мы располагаем отличной теорией, объединяющей электромагнетизм и слабое взаимодействие, однако когда мы пытаемся сочетать электрослабое взаимодействие с сильным, то ступаем на зыбкую почву. Нам не слишком много известно о том, как могла бы быть устроена «великая теория унификации», но мы предполагаем, что эти три силы, вероятно, были едины при гораздо более высоких энергиях, чем те, которыми располагала Вселенная в момент 10^{-12} секунд п. Б. в. Есть надежда, что Теория Всего объединит все четыре силы в более ранний период.

Поспешишь — людей насмешишь. Пока что мы можем только спросить, какой была Вселенная в тот момент, когда разделились электромагнетизм и слабое взаимодействие^[117].

Чтобы ответить на этот вопрос, нам придется разоблачить собственное вранье, точнее, умолчание. Мы говорили о том, что во Вселенной наличествовала асимметрия и что будто бы когда-то на каждый миллиард антипротонов приходился миллиард один протон.

Такого никогда не было.

Не было момента, когда протоны и нейтроны производились в колоссальных количествах. Когда Вселенной было от роду 10^{-12} секунд, она была совсем не такая, как сейчас. Кварки в то время были настолько энергичны, что их нельзя было удержать в рамках протонов и нейтронов. Так происходило до тех пор, пока Вселенной не исполнилось примерно

миллионная доля секунды, — а тогда Вселенная остыла до такой степени, что кварки уже перестали встречаться вне протонов и нейтронов.

Все это означает, что в некоторой степени мы не о том беспокоились. Вместо того чтобы думать о том, почему на каждый миллиард антипротонов находился один лишний протон, стоило задуматься о том, почему на каждый миллиард антикварков находился один лишний кварк. И тогда мы будем отодвигать источник вопроса крошки Билли все раньше и раньше.

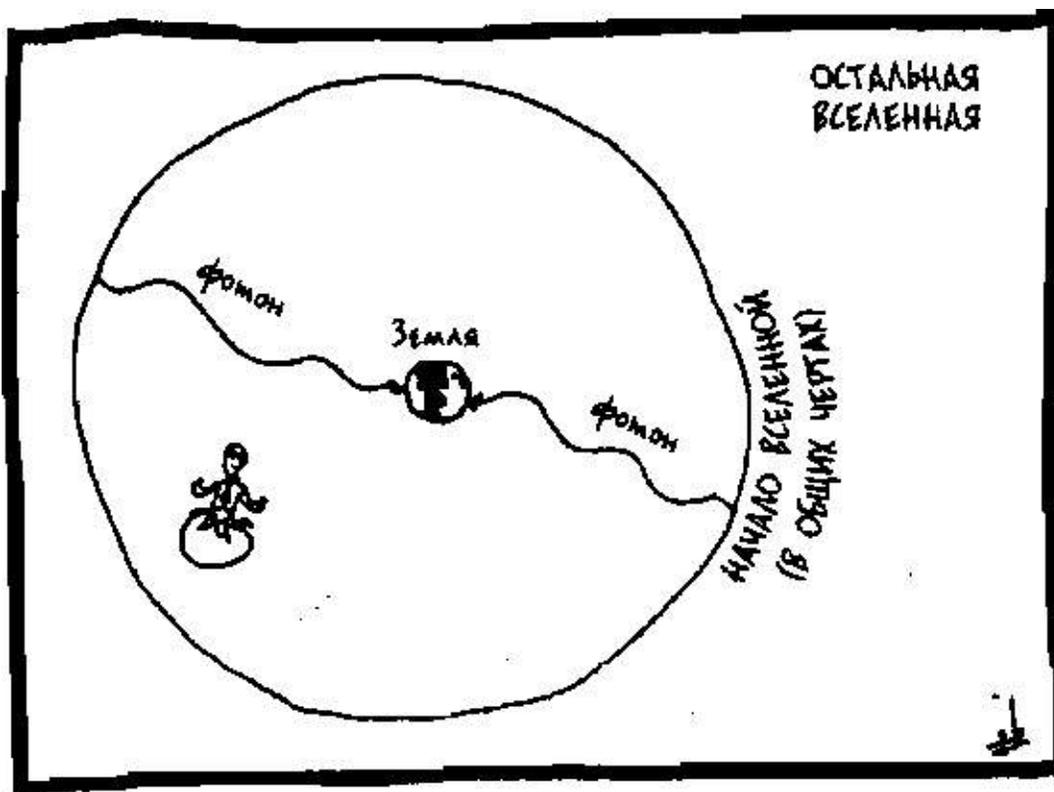
V. Существует ли где-нибудь в пространстве-времени твоя точная копия?

Инфляция ($t = 10^{-35}$ секунд)

Время до наступления эпохи кварков было восхитительным, однако невероятно запутанным. Температура была так высока, что кварки, электроны и нейтрино легко и просто создавались из высокоэнергичных фотонов. Нам нет смысла задумываться о том, чем в то время была занята каждая разновидность частиц. Все они создавались и уничтожались с такой быстротой, что, в общем-то, и не отличались друг от друга. Первобытный бульон Вселенной был практически однородным, и говорить о нем вовсе не так уж интересно. Лучше попробуем разгадать несколько удивительных тайн.

Тайна № 1. Проблема горизонта

По большей части фоновое космическое излучение имеет примерно одинаковую температуру. Два участка на противоположных сторонах неба зачастую различаются по температуре всего на одну стотысячную градуса. На первый взгляд это пустяк — однако увидеть, в чем тут проблема, вам, вероятно, поможет пикантная аналогия. Представьте себе, что капитан пиратского корабля готовится лечь в ванну. Предположим, он наполняет ее из двух кранов — по одному на противоположных концах ванны. Так получилось, что из крана по правому борту течет холодная вода, а из крана по левому борту — кипяток. Как вы думаете, когда капитан попробует воду и ляжет в ванну, будет ли он плескаться в равномерно теплой водичке? Нет. Голове будет горячо, а ногам — холодно. Вода мгновенно не перемешивается.



Все эти температурные вычисления основаны на простом предположении: когда Вселенная была вполтину меньше, чем сейчас, она была вдвое горячее — и так далее. Но это означает, что вначале температура везде была примерно одинакова. Если бы Вселенная, подобно ванне Кривавой Бороды, была разная в разных местах, температурам понадобилось бы некоторое время, чтобы перемешаться и выровняться. Самая быстрая скорость передачи тепла — скорость света, и на это бы попросту не хватило времени.

«Минуточку! — возразите вы. — У нас было почти 14 миллиардов лет! За такое время перемешается все что угодно!» Это так, но вы забыли об одной детали. Свет, попадающий на Северный полюс, и свет, попадающий на Южный полюс, исходят из участков пространства, крайне далеких друг от друга.

Предвидим следующее возражение: «В первые моменты после Большого взрыва все было очень близко друг от друга! И температуры в двух этих точках наверняка успели выровняться еще тогда! Или нет?»^[118]

Нет — хотя ход вашей мысли нам нравится. Да, эти участки тогда были очень близки, однако Вселенная была так юна. И ее юность пересилила размеры. Мы понимаем, что интуитивно вам хочется просто

предположить, будто температура «на старте» везде была одинаковой, но ведь это только потому, что вы привыкли, что любым событиям что-то предшествует, вот в чем дело. Большой взрыв — это вселенская отправная точка, поэтому попросту нет никаких причин для того, чтобы в самом начале все было однородно, а вы считаете, что Вселенная когда-то была маленьким шариком. Как мы видели в главе 6, расширение Вселенной идет по другому сценарию. В любое время после нуля все точки во Вселенной находились на каком-то расстоянии друг от друга.

Если пробиться сквозь вычисления, окажется, что время на перемешивание было лишь у тех участков неба, которые разделены углом примерно в один градус — около двух диаметров полной Луны. Поскольку большая часть Вселенной никогда не контактировала с остальной Вселенной, почему все выглядит примерно одинаково, куда ни посмотри? Почему галактики в Северном небесном полушарии такие же, как галактики в Южном?

Тайна № 2. Проблема плоского мира

В главе 6 мы столкнулись еще с одной большой загадкой, когда говорили о «форме» Вселенной. Мы отметили два факта.

1. Судьбу и форму Вселенной определяет критическая плотность. Если сложить все, что составляет массу и энергию, — то есть темную материю, темную энергию, барионы и фотоны, — а затем разделить это на критическую плотность, то мы обнаружим, что отношение реальной плотности к критической — $\Omega_{\text{ТОТ}}$ — составляет 100 % или по крайней мере настолько близка к 100 %, насколько мы можем измерить. Это означает, что Вселенная плоская.

2. Если бы $\Omega_{\text{ТОТ}}$ хоть немного отличалась от 100 %, то по мере развития Вселенной плотность либо возрастала бы очень быстро и в конце концов пришла бы к коллапсу (если бы $\Omega_{\text{ТОТ}}$ была больше 100 %), либо сокращалась бы (если бы она была меньше 100 %). Для наглядности: если $\Omega_{\text{ТОТ}}$ через одну секунду п. Б. в. равнялась 99,9999 %, сегодня она составляла бы меньше одной миллиардной процента.

Итак, мы подошли ко второй тайне: почему Вселенная плоская, если, по всем нашим данным, она совершенно не обязана быть именно такой?

Решение всех проблем.

Теория инфляции

В начале 1980-х годов многие исследователи пытались разобраться с этими вопросами, а также с вопросом о том, когда и как объединялись сильное и электрослабое взаимодействия. Физики надеялись, что чем выше энергии, тем больше похожи друг на друга все силы. Мы уже почти сумели достичь в наших ускорителях энергий, необходимых для унификации электромагнетизма и слабого взаимодействия, но еще не можем добыть никаких экспериментальных данных об объединении электрослабого и сильного взаимодействий. Даже БАК — самый мощный ускоритель, имеющийся в нашем распоряжении, — чтобы доказать великую теорию унификации, должен был бы вырабатывать энергии в триллионы раз больше предела своих нынешних возможностей.

Однако делать умозаключения нам никто не мешает. Примерно в 10^{-35} секунд п. Б. в. [\[119\]](#) энергии во Вселенной были настолько высоки, что все три силы, кроме гравитации, могли бы быть унифицированы, а вакуум обладал еще более высокой энергией, чем в период унификаций электромагнетизма слабого взаимодействия. Температуры, о которых мы говорим, настолько абсурдно высоки, что кажется, будто их выдумали: примерно 10^{27} градусов Цельсия. Поскольку для великой теории унификации (ВТУ) у нас нет ни единой модели, никаких подробностей мы не знаем, но если это было что-то похожее на конец эпохи электрослабого взаимодействия, то когда кончилась эпоха великой унификации, произошло нечто странное.

В 1981 году Алан Гус, который тогда работал в Стэнфорде, предположил, что это «нечто странное» называлось космической инфляцией, и на первый взгляд это казалось какой-то ерундой. Вскоре после того, как сильное взаимодействие откололось от электрослабого, Вселенная, согласно инфляционной модели, прошла период

экспоненциального расширения — она увеличивалась в размере со скоростью примерно в 10^{40} раз за крошечную долю секунды.

Так выглядит базовая картина инфляции, однако теперь перед нами встает другая задача — объяснить, почему мы решили, будто эта модель развития ранней Вселенной жизнеспособна. Наверное, вам кажется, будто экспоненциальный рост — это полнейшая фантастика. А вот и нет. Не забывайте, что наша Вселенная экспоненциально растет даже сейчас, пока мы с вами беседуем. Дело в одной мелочи, о которой вы уже знаете, — в так называемой темной энергии.

Возможно, вам к тому же кажется, будто такое стремительное расширение нарушает принцип специальной относительности, ведь нельзя двигаться быстрее света, — но не волнуйтесь. Нас беспокоит только одно — как бы информация не распространялась быстрее скорости света. А пространство пусть себе расширяется, как считает нужным.

Представьте себе, что капитан Кровавая Борода и его команда пытаются сбить часть своей несправедливо нажитой добычи в торговом центре. Кровавая Борода знает, что в обычной обстановке ему нипочем не перегнать первого помощника мистера Уинкса, но выясняет, что если он бежит по эскалатору, то прямо-таки летит — он двигается так быстро, как мистеру Уинксу и не снилось. Представьте себе, как удивится капитан, когда увидит, что и мистер Уинкс тоже бежит по эскалатору — и легко и просто пробегает мимо него.

То же самое происходит и в расширяющейся Вселенной. Может показаться, будто частицы движутся «быстрее света», — а это просто Вселенная расширяется вместе с ними. Если бы вы были субатомной частицей в тогдашней Вселенной, вы бы все равно не сумели обогнать луч света. Во время инфляции это так же справедливо, как и во все другие времена.

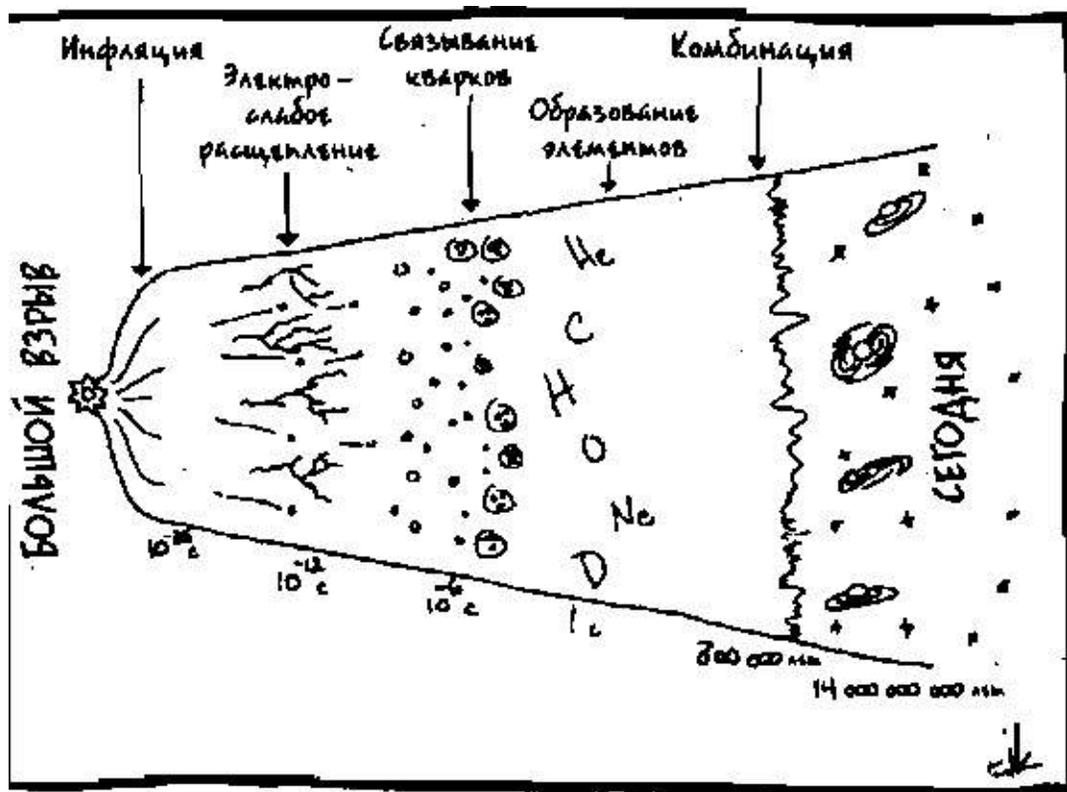
Гораздо серьезнее вопрос о том, почему же началось это расширение. Идея состоит в том, что когда сильное взаимодействие отходит от двух других, оно вызывает во Вселенной так называемый фазовый переход. Можете считать это внезапным превращением — вроде того, которое происходит, когда вы нагреваете лед до температуры выше нуля по Цельсию и он тает. Кроме того, это очень похоже на перемены, которые происходят, когда расщепляются электромагнитное и слабое взаимодействия.

Согласно гипотезе Гуса, во время инфляции Вселенная была наполнена так называемым инфлятоном полем^[120].

Во многих отношениях это похоже на поле Хиггса, которое сегодня контролирует массы и имеет отношение к электромагнитному и слабому полю. Поскольку инфляционное поле расширяется в точности как темная энергия, у них много существенных общих качеств. Одно из самых важных — инфляционное поле, расширяясь, не теряет плотности энергии. Это очень существенная составляющая уравнения, поскольку мы уже видели, что обычно большое расширение приводит к тому, что Вселенная сильно остывает, и тогда все в ней должно немедленно замерзнуть. Однако инфляционное поле — это вроде гигантской батареи, и когда инфляция произошла, вся энергия высвобождается, и Вселенная снова разогревается. Все становится вкусное и поджаристое, будто ничего и не остывало.

Если вы по-прежнему сомневаетесь, мы не вправе вас упрекать. Однако мы вас заверяем, что не стали бы говорить об инфляции, если бы она не помогала объяснять те загадочные явления, которые мы наблюдаем во Вселенной. Помните проблему горизонта, когда мы не понимали, как же перемешались разные кусочки неба? Инфляция разрешает эту проблему очень просто. Хотя до инфляции прошло совсем мало времени, маленький участок Вселенной все равно успел уравновеситься до одной температуры, а затем этот маленький участок раздулся до таких исполинских размеров, что теперь он включает в себя объем всей наблюдаемой Вселенной.

Кроме того, инфляция объясняет проблему плоского мира. Тут все еще лучше соответствует интуиции и здравому смыслу. Представьте себе, что вы надуваете очень большой воздушный шарик. Даже хотя «на самом деле» воздушный шар — это сфера, для муравья, человека или галактики, которые сидят на его поверхности, поверхность кажется плоской. Иначе говоря, возможно, наша Вселенная и не совсем плоская, но если она и не совсем плоская, то очень близка к таковой.



Означает ли это, что во Вселенной бесконечное количество материи? В конце концов, когда мы говорили о плоском пространстве, то упомянули о том, что плоская Вселенная бесконечна. Поскольку везде есть некоторое количество материи, а количество пространства бесконечно, отсюда прямо следует, что в целом количество вещества должно быть бесконечно.

Обычно подобные соображения очень нервируют, поскольку, когда начинаешь рассуждать о понятиях вроде бесконечности, нормальный человеческий мозг немедленно приходит к парадоксальным умозаключениям: «Если пространство бесконечно, значит, в нем бесконечное количество материи, а следовательно, где-то во Вселенной существует еще один я...» — и конец чувству собственной уникальности.

А по нашему мнению, вы все равно уникальны, что бы там ни думала Вселенная.

Мы говорили о периоде инфляции так, словно он был только один, но на самом деле (то есть согласно данной модели) Вселенная разветвлялась много-много раз — не исключено, что бесконечно много. Каждый участок пространства претерпевал инфляционное расширение, и новое пространство создавалось быстрее, чем завершалась инфляция каждого данного участка. Алан Гус назвал это «бесконечным бесплатным обедом».

Для наглядности надо провести грань между нашей Вселенной —

всем тем, что мы видим и с чем находимся в прямом контакте, всем тем, что могло бы повлиять на нас и на что мы сами могли бы повлиять (либо теперь, либо в обозримом будущем), — и «мультивселенной». «Мультивселенная» (это один из множества терминов, обозначающих одно и то же основное понятие) — это то, что мы понимаем как Вселенную с большой буквы. Мультивселенная, вероятно, состоит из множества разных вселенных, каждая из которых либо отделена от прочих пространством, либо временем, либо просто не может прямо с ними взаимодействовать.

Не путайте эти разные вселенные со «множественными мирами» — интерпретацией квантовой механики, с которой мы познакомились в главах 2 и 5. Разные вселенные мультивселенной — просто обычные вселенные, которые, вероятно, во многом похожи на нашу (или не похожи), только мы не можем в них побывать.

Представим себе, что в мультивселенной бесконечное множество вселенных. Квантовая механика учит нас, что даже если каждая конкретная вселенная конечна, устроена она может быть лишь определенным количеством способов (хотя это количество, вероятно, сокрушительно велико). Это значит, что где-то в мультивселенной может оказаться человек, идентичный вам во всем. Этот человек сейчас читает то же самое предложение, что и вы, и чувствует себя в точности таким же незначительным. Это унижительно — и к тому же немного жутко. Как будто у вас бесконечное множество преследователей. Более того, если количество вселенных и в самом деле бесконечно, то где-то существует и дубликат нашей Вселенной, как она есть.

Но бесконечна ли наша индивидуальная ветвь инфляции, наша Вселенная? Не обязательно. Инфляция не делает нашу Вселенную плоской, она просто раздувает ее до таких сокрушительно громадных размеров, что она становится настолько плоской, насколько нам это может быть интересно. Кроме того, это означает, что, строго говоря, материи в ней не бесконечное количество, а следовательно, никаких ваших двойников не существует, по крайней мере в нашей Вселенной. Понимаете? Мы же говорили — вы совершенно уникальны.

Разумеется, поскольку мы на самом деле не вправе с уверенностью судить о том, как были устроены материя и гравитация в первую крошечную долю секунды, все это можно считать не более чем обоснованными догадками.

VI. Откуда взялась материя?

Вероятно, самое важное, что объясняет инфляция, — то, откуда в нашей Вселенной взялся один лишний барион на миллиард и откуда вообще во Вселенной появилась материя. Но сначала нам нужно заполнить пару пробелов, имеющих отношение к материи и антиматерии.

Мы уже упоминали о том, что частицы и античастицы — попросту злобное альтер-эго друг друга. Заметим ли мы, если какой-нибудь маньяк примчится на крыльях ночи и заменит все кварки антикварками, все электроны позитронами, а все нейтрино — антинейтрино и так далее? Это физики называют зарядовой симметрией. Согласно всему, что мы вам до сих пор говорили, все останется прежним.

До сих пор мы не говорили о том, каким образом зарядовая симметрия влияет на нашу Вселенную, но влияние это должно быть очень сильным, ведь очевидно, что все сделано именно из материи, а не из антиматерии. Как выясняется, нейтрино и антинейтрино не совсем одинаковы. Оба вертятся, как заведенные, но эксперименты показывают, что все нейтрино крутятся по часовой стрелке, а все антинейтрино — против часовой стрелки.

На первый взгляд кажется, что это не играет никакой роли, — но получается, что если заменить все частицы античастицами, разница все-таки будет. Но все можно исправить — стоит лишь не только заменить частицы античастицами, но и поменять местами право и лево. Это называется четностью или симметрией четности. В результате «по часовой стрелке» превратится в «против часовой стрелки» и наоборот.

Главный вопрос: если мы изменим и зарядовую, и параллельную симметрию, будет ли физика вести себя по-прежнему?^[121]

Если да, значит, Вселенная не различает материю и антиматерию, и у нас нет ни малейшего представления, почему в нашей Вселенной в избытке и того и другого.

Тут к нам на помощь в очередной раз приходят эксперименты с ускорителями. При высоких энергиях производятся частицы под названием каоны — вместе со своими античастицами. По большей части, каоны и антикаоны ведут себя одинаково и при распаде образуют очень похожие продукты. Однако примерно в одном случае из тысячи каоны производят не такие Продукты распада, как антикаоны. Это крошечный феномен — но он показывает, что Вселенная на самом деле различает материю и

антиматерию.

Суть в том, что как раз в конце эпохи великой унификации энергии были достаточно высоки, чтобы создавать гипотетическую частицу под названием X-бозон. X-бозоны были очень массивны и быстро распадались на другие частицы, в том числе на кварки и антикварки, — но их было не поровну.

А вот анти-X-бозон, по всей видимости, вел себя как раз противоположным образом, и в среднем эти частицы взаимоуничтожались. С другой стороны, если считать, что X-бозоны вели себя как каоны, то есть античастицы не всегда в точности отражали обычные частицы, значит, мы получали несколько дополнительных кварков, а в конечном итоге — несколько лишних барионов.

Так что если вы хотите сказать крошке Вилли, откуда он (и вся остальная материя во Вселенной) взялся, следует сказать ему, что все мы произошли от нарушения симметрии в первые 10^{-35} секунд жизни Вселенной.

VII. Что произошло в Самом начале времен?

Что-то вроде Начала Времен ($t = 10^{-43}$ секунды)

Чем дальше мы углубляемся в прошлое, тем сильнее разогрета Вселенная и тем спекулятивнее становятся наши выводы. Нельзя сказать, чтобы нам было так уж много известно об эпохе великой унификации, но поскольку мы знаем, как действуют все не гравитационные силы, которые более или менее обеспечиваются одной единой теорией, ученые стремятся к тому, чтобы сделать хотя бы обоснованную догадку о том, какой должна быть великая теория унификации.

С другой стороны, мы не можем с уверенностью утверждать, что нащупали верный путь к тому, как сочетать гравитацию с другими силами или с квантовой механикой. Эти теории совпадают на той временной шкале, когда возникали черные дыры — причем эти черные дыры были больше, чем горизонт Вселенной. Нелепица? Еще бы. Время, о котором мы говорим, — это примерно 10^{-43} секунд (42 нуля после десятичной запятой). Это волшебное число называется планковским временем, и мы не можем сказать ничего определенного о тогдашних событиях. В общем и целом это число возникает из формул — если мы подставляем туда все физические константы и спрашиваем, в какой момент совпадают гравитация и квантовая механика.

Как мы уже говорили в главе 4, невозможность примирить друг с другом квантовую механику и гравитацию — одна из центральных проблем физики вне стандартной модели. Для сглаживания противоречий пригодятся подходы вроде теории струн или петлевой квантовой теории гравитации, однако дознаться до истины мы пока что не в состоянии. Скажем, если верна петлевая квантовая теория гравитации, то существует не только минимальная измеримая дистанция, но и минимальное измеримое время. Вот, например, фильм кажется непрерывным и плавным, пока не заметишь, что он разбит на 24 кадра в секунду, — а вдруг и Вселенная тоже разбита на кадры?

Даже если время и пространство на планковских масштабах и не разбито на пиксели, путаницы там все равно предостаточно. В 1955 году Джон Уилер заключил, что если в вакууме постоянно создаются и

уничтожают друг друга частицы, у них должно быть гравитационное поле. В результате на масштабах меньше планковской длины даже пустое пространство должно быть безнадежно деформировано и искажено. Уилер назвал это квантовой пеной, и если все так и обстоит (разумеется, никто этого глазами не видел), значит, существуют минимальное возможное расстояние и минимальный возможный размер.

Оставим все это ненадолго и сделаем один простенький фокус. Представим себе, что мы двигаемся в прошлое все дальше и дальше, и притворимся, что при этом не нарушается обычная общая теория относительности. Время, как и пространство, может свертываться и складываться само на себя. Иначе говоря, согласно общей теории относительности, никакого «до Большого взрыва» не было. Большой взрыв создал Вселенную, в том числе и время. Это все равно что спрашивать: «А когда стоишь на Южном полюсе, где там юг?»

Это несколько смущает — хотя мы преспокойно заявили, что ткань пространства расширяется, а материю можно создавать из ничего, но в обоих случаях от чего-то отталкивались. Даже при инфляции, когда размер Вселенной увеличивался в невероятном темпе, все равно пришлось начинать с небольшого участка и представить себе, что он был очень податливый и мягкий. Когда мы создавали частицы, то начали с энергии. В результате, когда мы говорим о «сингулярности» Большого взрыва, возникает искушение представить себе Вселенную в целом как совсем крошечный и очень плотный комочек, который взял и взорвался. Беда в том, что эта картина полностью расходится со всеми нашими познаниями в физике. Да и модели создания Вселенной из бесконечно малой точки у нас нет.

На самом деле мы просто не знаем, что было до этого, поэтому и спрашивать у нас не стоит. Да-да. Не знаем, и все тут. Ну ладно, если вы так уж настаиваете, можем выдвинуть несколько догадок.

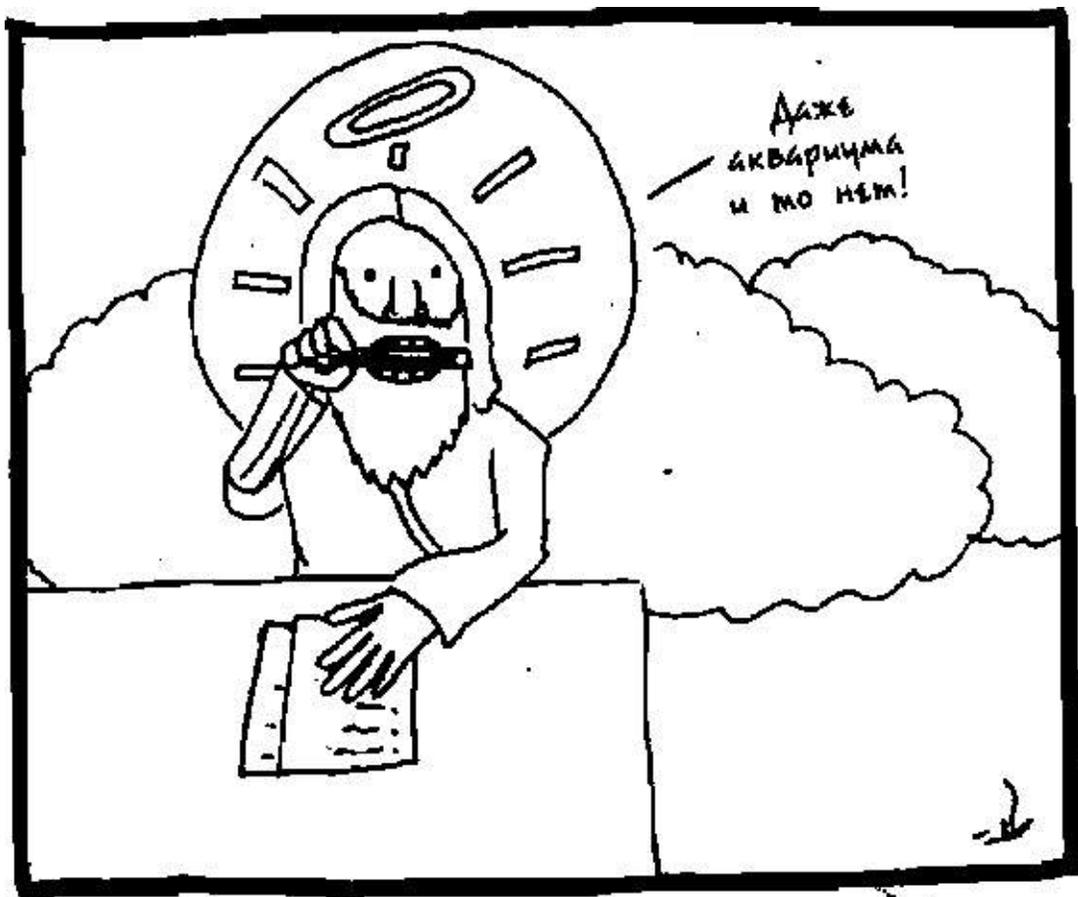
VIII. Что было до начала?

Не будем лениться и повторим: общая теория относительности предполагает, что никакого «до Большого взрыва» не было. Крошке Билли достаточно знать, что никакого времени тогда не существовало. Однако некоторое пространство для маневра у нас есть. Поскольку мы не знаем даже с отдаленным подобием определенности, что произошло до планковского времени, мы уж точно не знаем, что происходило до Большого взрыва. Так или иначе, нам остается одна из двух возможностей.

1. У Вселенной был некоторый момент начала — в этом случае у нас остается большой вопрос о том, что привело к ее созданию.

2. Вселенная была всегда — в этом случае существует буквально бесконечное количество историй, как до нас, так и после.

Ни тот ни другой вариант нас полностью не удовлетворяет, и оба ставят перед нами проблемы, которые не по зубам даже религиям. Например, Ветхий Завет начинается со слов «В начале». Следует понимать, что мир создал Бог. В таком случае Вселенная — наша Вселенная — началась в определенный момент. Однако сам Господь, как предполагается, вечен. Чем же он занимался до создания Вселенной?



ОХ, НУ И СКУКОТИЦА ЖЕ БЫЛА ДО НАЧАЛА ВРЕМЕН!

Ничуть не лучше предположить, будто Вселенная ни с того ни с сего взяла и создала сама себя. Тогда надо сформулировать сколько-нибудь жизнеспособную модель, объясняющую, что заставило Вселенную все это затеять. Особенно хитроумный фокус (или теорию, если вам так больше нравится) предложил в 1982 году Алекс Виленкин из Университета Тафте — он показал, что данные квантовой механики проливают некоторый свет на возникновение мультивселенной.

Во-первых, Виленкин отметил, что если нам надо каким-то образом доказать, что Вселенная началась с крошечного пузырька, следует учесть, что могло произойти два события. Если бы пузырек был достаточно велик, энергия вакуума заставила бы его расширяться и подвергнуться инфляции. Если бы пузырек был слишком мал, он бы схлопнулся. Но мистер Хайд в главе 2 преподал нам важный урок. Когда имеешь дело с квантовой механикой, все происходит не так, как ожидается. Помните, как Хайд «случайно» появлялся из дыры в земле? Точно так же маленькая вселенная могла бы случайным образом туннелироваться в более крупную. Модель

Виленина поражает тем, что даже если сделать «маленькую» вселенную — сколь угодно маленькую, — туннелирование все равно возможно. Оно возможно даже в том случае, когда вселенная вообще не обладает никаким размером. А как мы называем нечто лишенное размера? Ничто.

До Большого взрыва Вселенная находилась в таком состоянии, когда ее размер (честное слово) равнялся нулю, а время было неопределенным по своей сути. Затем Вселенная туннелировала из ничего в расширяющуюся ветвящуюся Вселенную, которую мы уже видели. Проблема в том, что «ничто», из которого возникла Вселенная, было не совсем ничто. Оно должно было каким-то образом понимать, что такое квантовая механика, а нас приучили думать, что физика присуща Вселенной имманентно. Неприятно думать, будто физика существовала до начала Вселенной или, если уж на то пошло, до начала времен.

Разумеется, это основная проблема любой теории происхождения Вселенной. Получается, что вся эта сверхсложная структура должна была возникнуть из ничего, и это не укладывается в голове.

Вторая возможность так же огорчительна. Мультивселенная вполне способна быть буквально вечной или по меньшей мере обладать бесконечной историей. Углубляться в философию или теологию мы здесь не будем. Однако мы вправе задать вопрос о том, как же устроена бесконечная Вселенная.

Сценарий бесконечной мультивселенной № 1.

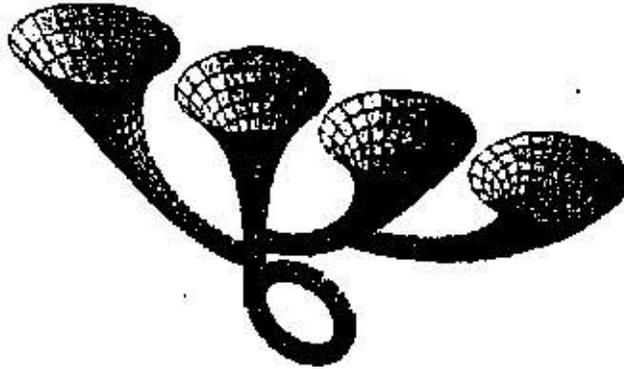
Мультивселенная породила сама себя

Если крошку Билли не удовлетворили следствия «начала», о которых мы уже поговорили, или если он решил, будто понял, куда мы клоним, будет достаточно фразы «мультивселенная породила сама себя», чтобы раз и навсегда отвадить любого от того, чтобы просить у физика совета в сердечных коллизиях или разъяснения по биологическим вопросам.

Однако происхождение мультивселенной по-прежнему остается открытым вопросом для обсуждения. В 1998 году Дж. Ричард Готт и Ли

Цзин Ли из Принстона предложили вероятный вариант событий, согласно которому мультивселенная возникла из некоего объекта, похожего только и исключительно на машину времени. Готт и Ли показали, что решить Эйнштейновы уравнения общей теории относительности можно так, что мультивселенная начнет ходить по замкнутому кругу^[122], и этот круг послужит «стволом» дерева, которое дает побеги и ветви, порождая свою собственную вселенную.

Поскольку лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать, приведем картинку, которую нарисовали сами Готт и Ли.



Из работы Готта и Ли (1908)

Трактовать эту схему нужно следующим образом: по большей части время идет снизу вверх, и все начинается с бублика внизу. Таково происхождение мультивселенной. Это значит, что начала у мультивселенной не было, поскольку крутиться по петле можно бесконечно.

А следовательно, мы вправе говорить о «времени после Большого взрыва» как о времени, когда петля дала побег в будущее и родилась некая вселенная. Кроме того, вы заметите, что от первичной временной петли отходит не один рог, а несколько. Это полностью соответствует с представлением об инфляции мультивселенной, с которым мы уже знакомы.

Сценарий бесконечной мультивселенной № 2.

Это не первая Вселенная

Существует вероятность, что Вселенная могла в конечном итоге схлопнуться и впасть в коллапс, — эту вероятность мы обсудили и практически сразу отмели. С нашей нынешней точки зрения, подобная версия привлекательна потому, что если бы Вселенная окончила свои дни «большим хлопком», дело, вероятно, было бы в том, что мультивселенная — это всего лишь последовательность расширений и сжатий, которая длится вечно, и наша Вселенная — всего лишь одно звено в бесконечной цепи.

Неувязка (помимо того факта, что во Вселенной не хватает вещества для нового коллапса) состоит в беспорядке. Как мы видели в главе 3, Вселенная любит беспорядок. Если вы когда-нибудь строили башню из жестяных банок из-под лимонада, то знаете, что есть только один способ их сложить — одну на другую, стоя, вертикально. Но если разрушить башню, банки раскатятся как попало. Развалить башню из банок можно куда как большим числом способов, чем построить, и с течением времени Вселенная находит способы разрушить и другие формы порядка.

Если наша Вселенная — результат целой серии расширений и коллапсов, то наш «Большой взрыв» произошел через миллиарды и триллионы лет после некоего «начала (а оно откуда взялось и почему произошло?)», так что на наведение беспорядка было сколько угодно времени. Но особого беспорядка как-то не наблюдается. Более того, история нашей Вселенной была очень гладкой и упорядоченной. Ответ не сходится.

Однако в последние годы появилось много других циклических моделей, которые обеспечивают существование вечной Вселенной. В 2002 году Пол Штейнхардт из Принстонского университета и Нил Турок из Кембриджа придумали модель, эксплуатирующую дополнительные измерения из теории струн. Как мы видели в главе 6, теория струн предполагает, что наша Вселенная, возможно, вообще не трехмерная, а обладает целыми десятками пространственными измерениями. А наша Вселенная живет на трехмерной «бране», которая плывет по мультивселенной, не взаимодействуя с другими вселенными.

Однако гравитационно разные браны (то есть разные вселенные) взаимодействуют. В этой модели темная энергия, которая ускоряет Вселенную, — вовсе не отдельное явление, а просто остаток гравитационного притяжения между бранами^[123], а темная материя — просто обычная материя на соседней бране.

Случается, что браны сталкиваются, отчего и происходят «большие

взрывы» в пределах разных бран, а затем все происходит так, как мы уже видели.

Эти модели необычайно элегантны, к тому же обладают дополнительным преимуществом — нам не нужна инфляция, чтобы объяснить проблемы плоского мира и горизонта. Кроме того, проблема «увеличения беспорядка» решается совершенно по-новому. С каждым циклом браны становятся все более эластичными, а это означает, что беспорядок распространяется по все большему и большему объему. Однако крошечный лоскуток, который мы называем нашей Вселенной, — всего лишь клочок браны, поэтому мы с каждым повторением начинаем почти что с нуля.

Звучит великолепно — но ведь все эти модели требуют, чтобы теория струн оказалась верной, а по этому поводу мнения, прямо скажем, расходятся. Есть множество условий, при которых Вселенная способна претерпеть череду сжатий и расширений, и теория струн — лишь один вариант из нескольких. Если верна петлевая квантовая теория гравитации, например, то при попытке посмотреть кинохронику Вселенной вы бы застряли в планковском времени — Вселенная буквально не в состоянии стать меньше и моложе, чем тогда. В результате время автоматически обратится вспять. Иначе говоря, естественным решением всех проблем было бы предположение о том, что Вселенная вечна.

В конечном итоге теория Большого взрыва обладает тем же основным недостатком, что и теория эволюции. Обе практически идеально описывают, как Вселенная (или жизнь на Земле) менялась после зарождения, но ни та ни другая не в силах объяснить, с чего все началось. Нельзя винить теорию в том, что она объясняет не абсолютно все, но это не отменяет природной любознательности. Ответ на вопрос крошки Билли может закончиться словами: «И откуда ты взялся, мы тоже не знаем».

Глава 8. ИНОПЛАНЕТЯНЕ

Глава 8



Слушай, раз мы
на Земле, может,
встретимся,
посидим,
поболтаем, а?

Нет! Нет, я не
могу. Дел выше
крыши. Занят
ужасно. В общем,
я потом позвоню,
ладно?

Есть ли жизнь
на других планетах?

Физикам частенько приходится сталкиваться с самыми головоломными и трудными вопросами. Мы уже поговорили о начале времен, о конце времен и обо всем, что посередке. Мы возились с

огромными кусками пространства и разбирались, откуда берется материя. Обсуждая квантовую механику, мы даже неловко повертели в руках ответы на главный вопрос философии — вопрос о свободе воли и детерминизме. Все наши разговоры отличает определенный оттенок странноватой жути, и самая безопасная научная политика зачастую оказывается такой: смиришься, склони голову, пробейся сквозь вычисления и посмотри, что у тебя получится, а потом загляни в ответ [\[124\]](#).

В то же время в общественном сознании угнездились распространенные представления о том, что если думать о физике в масштабе Вселенной, можно понять что-то важное и особенное в подлинной природе реальности или разобраться наконец, одни ли мы во Вселенной. Когда человеку задают такие вопросы, он заливаясь краской и вспоминает, что еще не пробился сквозь вычисления. От крупных эзотерических вопросов так просто не отмахнешься. Как известно, Ньютон был и величайшим физиком своего времени (а то и всех прочих времен), и убежденным христианином. В промежутках между изобретением физики и математического анализа у него оставалось достаточно времени на то, чтобы поразмыслить, сколько ангелов уместится на кончике иглы. Использование физики для решения нефизических задач — прием, имеющий славное прошлое, а значит, если нас спросят, верим ли мы в инопланетян, недостаточно прикинуться дурачками. Надо прикинуться умниками.

I. Ну и где они все?

Начнем с очевидного. Если вопрос не относится к физике, это вовсе не значит, что нам нельзя вернуть в беседу пару-тройку остроумных реплик. Например: «Был ли у нас хоть один контакт с инопланетянами?»

Простейший ответ — поскольку мы не сторонники конспирологических теорий, а следовательно, не верим в закрытые «зоны» контактов, то твердо уверены, что на Земле ни разу не терпел крушение корабль пришельцев. Конечно, нам хотелось бы в это верить, но все равно, если окажется, что нас посещали инопланетяне, мы сильно удивимся.

Человечество отправляет сигналы в космос всего только 60 лет. Инопланетяне не стали бы посещать нас, если бы не засекли подозрительные сигналы с Земли и не захотели в результате проверить, откуда они исходят (хотя это желание, вероятно, угасло бы, если бы они сумели посмотреть перехваченные телепередачи). Если предположить, что они отправились в путь, как только засекли сигналы, все равно добраться до нас они бы смогли с максимальной скоростью чуть меньше скорости света.

Инопланетяне, которые могли бы нас посетить, должны жить на расстоянии около 30 световых лет от Земли. В пределах этого расстояния расположено около 400 таких звезд, но до сих пор у нас не было никаких прямых доказательств, что у какой-нибудь из них есть планеты, похожие на Землю, не говоря уже об обитаемых и тем более — населенных разумными существами. Более того, поскольку наши сигналы необычайно слабы, едва ли какая-нибудь инопланетная цивилизация заметила бы нас, если бы даже хотела.



Однако Вселенная так велика, что возникает чувство, будто в ней должны найтись и другие цивилизации. Энрико Ферми, один из величайших физиков XX века, сформулировал основную проблему следующим образом: только представьте себе, сколько во Вселенной звезд. Есть все шансы, что на некоторых из этих звезд зародилась и развилась разумная жизнь — если только наша Земля по какой-то непонятной причине не оказалась совсем уж уникальной. Эта разумная жизнь впоследствии — и это главное — распространится на другие планеты.

Если можно хоть в какой-то мере полагаться на наш земной опыт, люди (или инопланетяне, подобные людям) стремительно заселяют каждый обитаемый уголок. Раз Вселенная такая старая, она, казалось бы, должна быть битком набита разумными существами, и мы бы уже сто раз с ними проконтактировали. Как сказал Ферми: «Ну и где они все?»

Ферми достаточно вольно обращался с цифрами и, вероятно, питал чрезмерный оптимизм по поводу перспектив путешествий со сверхсветовой скоростью и колонизации других галактик. Однако парадокс Ферми заставляет нас применить наши познания в физике и астрономии,

чтобы вычислить, какова вероятность, что где-то во Вселенной есть инопланетяне с билетом до Земли в кармане. Итак, каковы шансы, что в нашей Галактике есть другие разумные существа, учитывая все, что мы знаем о ней?

Самый простой подход — долго и помногу раз наблюдать множество соседних звезд. В принципе, сверхцивилизация, которая хочет разрекламировать всему миру свое существование, послала бы во все стороны радиосигналы с распознаваемыми закономерными последовательностями чисел, чтобы другие разумные цивилизации могли их зарегистрировать и расшифровать. Мы не так развиты и пока что можем лишь принимать сигналы — нам не по силам развить такую мощь, чтобы посылать информацию к другим звездам. Если этот сценарий вам чем-то знаком, неудивительно. Это главный принцип романа Карла Сагана «Контакт», написанного в 1985 году и впоследствии экранизированного, — получился отменный фильм с Джоди Фостер^[125].

Хотя все эти разговоры о контакте — не более чем мечты, наука, которая стоит за поисками внеземных цивилизаций, очень и очень серьезна. С 1960-х годов существует весьма активная исследовательская группа под названием «Поиски внеземного разума» (*Search for Extraterrestrial Intelligence, SETI*), цели которой полностью описаны в названии^[126].

Не хотим вас огорчать, но пока что поиски внеземных цивилизаций не принесли ничего такого, о чем стоило бы рассказать приятелям за чашкой чая.

Представьте себе, что когда-нибудь SETI обнаружит внеземную цивилизацию, а она — ура! — окажется у нас буквально на заднем дворе. Предположим, мы захотим послать экспедицию к ним на Альфу Центавра, которая находится примерно в 4 (ну, в 4,3 — но это мелочи) световых годах от Земли. Можем ли мы это сделать? На самом деле, конечно, нет, но не произойдет ничего страшного, если мы посмотрим, чем нам могла бы помочь инженерия научно-фантастического толка.

Двигателей деформации пространства для путешествий со скоростью больше скорости света у нас нет, поскольку это полная чушь, и мы не будем даже затевать разговоры о том, как непрактично было бы устраивать кротовую нору. Кроме того, мгновенно разогнаться до 99 % скорости света мы бы не могли, даже если бы обладали соответствующей технологией: нас бы размазало перегрузками! Скажем, наш звездолет разгоняется с ускорением всего в 1 *g*, то есть с ускорением свободного падения на Земле.

Будем лететь с полным комфортом. Первую половину пути нас будет тянуть к корме звездолета, но благодаря темпам ускорения искусственная гравитация будет казаться вполне земной. Вторую половину пути, когда мы будем замедляться, «низом» станет нос корабля. Есть еще вопрос энергии. Даже если бы наш звездолет состоял из одной кабины, в которой хватало бы места только на одного человека^[127], чтобы разогнаться до нужной скорости, потребовалось бы столько энергии, сколько потребляют все США за три месяца.

Но если отбросить все эти мелкие технические трудности, сможем ли мы добраться до альфы Центавра еще при нашей жизни?

Пожалуйста. Опустим вычисления и скажем, что на первый световой год уйдет всего около 1,7 года, а на второй — примерно 1,1 года. На полдороге мы будем лететь со скоростью 94 % скорости света. Конечно, в этот момент нам надо будет замедлиться с ускорением в 1 *g*, иначе мы прибудем к месту назначения с околосветовой скоростью и разобьемся в лепешку. В целом путешествие займет около 5,6 года. Для научной фантастики цифра не слишком впечатляющая, но определенно реальная^[128].

Но есть одна трудность: время, проведенное в космосе, — это время, которое отмеряют наши друзья, оставшиеся на Земле. Как мы видели в главе 1, когда мы путешествуем со скоростью, составляющей ощутимую долю скорости света, время замедляется. Согласно часам члена экипажа, путь займет всего 3,6 года — меньше четырехлетнего минимума, который можно было бы ожидать, если учесть, что Альфа Центавра находится в 4 световых годах от нас. Да-да, мы не ошиблись: мы будем лететь со скоростью меньше скорости света, но на такой громадной скорости искажаются и пространство, и время. Из-за эффекта расширения времени мы, в принципе, успели бы за свою жизнь долететь и до более далеких звезд. Беда в том, что для всех остальных время идет как положено, и они, вероятно, не станут нас дожидаться.

Могли бы инопланетяне посетить нас, если бы хотели?

Стоит ли питать надежды? Ферми, очевидно, считал, что да, но он заключил, что пришельцы прилетят из любой галактики во Вселенной. Было бы реалистичнее полагаться только на нашу Галактику. Мы можем опереться на те статистические выкладки, о которых столько говорили, чтобы подсчитать, какова вероятность обнаружить внеземную

цивилизацию. Фрэнк Дрейк, один из основателей *SETI*, в 1960-х годах сформулировал вероятностный подход к тому, живут ли в нашей Галактике разумные инопланетяне.

Уравнение Дрейка переписывалось самыми разными способами, однако и в простейшей форме оно позволяет учесть все те ограничения, которые накладываются на развитие разумной цивилизации, и перемножить их.

1. Сколько в галактике звезд?
2. Какая их доля обладает планетами?
3. На какой доле планет возможна жизнь?
4. На какой доле этих планет жизнь и в самом деле зародится?
5. Если там развилась жизнь, какова вероятность, что она в конце концов станет разумной?
6. Какова вероятность, что эта разумная жизнь решит транслировать в космос сигналы о своем существовании?
7. Сколько примерно просуществуют такие цивилизации?

На первые несколько вопросов можно ответить вполне точно, но когда мы доберемся до нижней части списка, останется только строить догадки — причем необоснованные. Однако мы с помощью орудий своего ремесла сумеем сделать вполне точные оценки.

Начнем с самого легкого вопроса — с первого. Ответ на него вполне позволяет думать, будто в Галактике очень много разумной жизни. Ведь в нашей галактике Млечный Путь имеется около 10 миллиардов звезд, а средняя звезда живет десятки миллиардов лет. Каждый год за время существования нашей Галактики в среднем образуется 10 новых звезд, и каждая звезда — это возможность зарождения новой цивилизации. Однако мы не знаем, у какого количества звезд появятся солнечные системы вроде нашей. А мы совершенно точно знаем, что любой жизни нужна планета, которую можно назвать домом.

II. Сколько существует планет, пригодных для обитания?

В те времена, когда была основана организация *SETI*, мы знали о существовании ровно девяти планет, все как одна — в пределах нашей Солнечной системы. Поскольку Плутон впоследствии был понижен в звании до «карликовой планеты», а на всех остальных или жарко, или холодно, или они сделаны из газа, возникало искушение сказать, что перспективы найти другую цивилизацию или планету-колонию (если мы в конце концов окончательно загадим свою) весьма и весьма туманны. Не то чтобы мы были уверены, будто у других звезд планет нет. Просто мы их к тому времени еще не обнаружили^[129].

Все изменилось в конце 1980-х — начале 1990-х годов, когда планеты начали открывать направо и налево. Обычно планеты мы открываем, поглядев на звезду; планеты вертятся вокруг своего солнца, а солнце, строго говоря, тоже вертится вокруг планет, хотя и очень слабо. Если планета достаточно массивна и достаточно близка к своей звезде, то звезда чуть-чуть колеблется при каждом проходе планеты по орбите — и это можно измерить, чтобы определить массу планет.

Мы даже сумели прямо пронаблюдать кое-какие из свежесоткрытых планет. В 2008 году группы ученых из Беркли и университета Герцберга в Британской Колумбии засняли изображения планетарных систем, известных как Фомальгаут-b и HR 8799 соответственно. Но не думайте, будто нам показали фотографии роскошных пляжей и городских пейзажей. Каждое фото размером всего в один пиксель. Более того, эти экзопланеты не назовешь туристскими местечками. Все они гораздо массивнее Юпитера и, скорее всего, состоят из газа.

В начале 2009 года НАСА запустило спутник «Кеплер». Этот инструмент будет последовательно наблюдать около 100 тысяч звезд и высматривать признаки планет, вращающихся вокруг них. Когда планета проходит перед своей звездой, свет звезды чуть-чуть тускнет. Поскольку это периодический эффект, то такое потускнение позволяет вычислить продолжительность планетарного года, размер планеты, расстояние до звезды и другие основные свойства.

Пока что мы обнаружили вне Солнечной системы больше 300 планет, и, по грубым оценкам, планеты есть примерно у 15 % звезд, причем у многих не по одной, а больше. Однако подавляющее большинство

обнаруженных до сих пор планет гораздо больше похожи на Юпитер, чем на Землю, и там отнюдь не курорт, если вы, конечно, не особый любитель плавать в гигантской газовой сфере, состоящей из водорода.

Нам бы, конечно, хотелось обнаружить каменную планету — «земного типа», как говорят знающие люди. Это очень непросто. Поскольку планеты земного типа гораздо менее массивны, чем газовые гиганты, они заставляют свою звезду колебаться гораздо меньше, поэтому их куда как труднее обнаружить, чем их более крупных сестер-юпитерианок. Но мы над этим работаем. Есть надежда, что спутник «Кеплер» обнаружит множество Земель, просто мы не знаем, сколько именно. Спутник сконструирован так, что везучая инопланетная цивилизация, создавшая свой вариант «Кеплера», сможет засесть Землю.

Но зачем дожидаться результатов с «Кеплера»? В главе 6 мы говорили о феномене «гравитационных линз», при котором свет отдаленных галактик увеличивается и искажается гравитационным полем галактики или скопления галактик, которые находятся между нами и ими. Увеличить дальний свет способна любая масса, так что в течение нескольких десятилетий астрономы наблюдали эффект «микролинз», когда звезда или другой объект проходит между Землей и далекой звездой. Далекая звезда в течение нескольких дней или недель становится ярче, а потом снова тускнеет. Таким образом мы можем зарегистрировать любую массу, в том числе и планеты, но для этого нам должно крупно повезти. В 2005 году эксперимент с оптическими гравитационными линзами (*Optical Gravitational Lens Experiment*, или *OGLE* — умеренного качества шутка, если учесть, что *ogle* означает «пялиться»), наблюдая звезду, зарегистрировал крошечный лишний сигнал. Он засек планету, которая похожа на Землю больше всех открытых до сих пор планет и обладает массой всего в 5,5 раза больше земной. Однако мы, к сожалению, не можем жить на OGLE-2005-BLG390-Lb (так уж ее прозвали), поскольку на ее поверхности стоит мороз в -200 градусов по Цельсию.

Мы предполагаем, что для возникновения жизни нужна каменная планета с жидкой водой, поскольку именно такая среда породила нас самих. Возможно, это не совсем честно, поскольку на самом деле мы не знаем, что это может быть за жизнь. Вполне вероятно, что жизнь зародится не на планете, а на ее спутниках. Было много предположений, что у спутника Юпитера Европы на поверхности есть жидкая вода. Вероятно, жизнь могла бы зародиться и там или в другом похожем месте в нашей Галактике. Единственное, что мы можем утверждать с уверенностью, — это что ни на других планетах Солнечной системы, ни на Луне жизни нет.

Кроме того, даже если предположить, что жизнь способна зародиться на планетах с более гибкими характеристиками, чем мы считали раньше, основную картину это не меняет. По-прежнему представляется, что жизнь — явление относительно редкое.

Даже в пределах нашей Солнечной системы то, что ты каменная планета, вовсе не гарантирует, что ты планета класса М, как говаривал капитан Кирк с командой. На Меркурии и Венере слишком жарко, а у Марса нет атмосферы. В нужную зону попадает только Земля — тютелька в тютельку. Обратите внимание, что все планеты в нашей Солнечной системе вращаются вокруг Солнца по практически круглой орбите, а это значит, что на них не такие уж большие перепады температуры в течение года. Однако у большинства из 300 планет, обнаруженных вне Солнечной системы, орбиты эллиптические, а значит, на них часть года поджариваешься, а другую часть промерзаешь. Жизни такие условия не способствуют.

Однако у нас хорошие перспективы. В 2007 году была открыта планета под названием Gliese 581d. Хотя она имеет массу примерно в 8 раз больше земной, но расположена достаточно близко к своей звезде, чтобы вода на поверхности почти что таяла. Хотя мы не знаем, имеется ли на ее поверхности вода и есть ли там чему таять и найдутся ли парниковые газы, чтобы разогреть планету, тем не менее Gliese 581d — главный нынешний кандидат на звание планеты, пригодной для развития жизни.

Итак, мы уже навострились находить планеты вне Солнечной системы, однако ни одной пригодной для жизни, в сущности, пока не нашли. Так что мы только пожимаем плечами, когда переходим к четвертому вопросу уравнения Дрейка: «На какой доле этих планет жизнь и в самом деле зародится?» Поскольку нам пока что известна лишь одна планета, на которой может зародиться жизнь, и жизнь на этой планете уже имеется^[130], сказать что-нибудь определенное трудно.

Но причин для оптимизма у нас достаточно. Только подумайте: нашей Земле примерно 4,6 миллиарда лет, а жизнь на ней зародилась всего-то через 800 миллионов лет после рождения планеты. Иначе говоря, в единственном известном нам случае жизнь зародилась практически сразу, как только смогла.

III. Долго ли живут разумные цивилизации?

Жизнь на Земле кишит повсюду, где только может. А значит, нам не то чтобы хочется поскорее заполучить внегалактических микробов [\[131\]](#).

Нам хочется вступить в контакт с зеленокожими инопланетными красотками с Бетельгейзе. Какова же вероятность, что жизнь в какой-то момент станет разумной? Не знаем, поскольку на Земле это, по всей видимости, произошло всего один раз и то всего в последние пару миллионов лет.



Популярное представление об эволюции предполагает, что все обезьяны, двоякодышащие рыбы и так далее неумолимо развиваются в сторону высшей формы жизни — нас с вами. Увы, ничего подобного эволюция не утверждает. На самом деле разум вовсе не гарантирует, что мы лучше приспособлены для выживания, так что отнюдь не очевидно, что жизнь в конце концов сформирует существ, обладающих развитым

интеллектом. Гигантский мозг, требующий уймы калорий, длинный период внутриутробного развития и долгое беспомощное детство делают нас безнадежными аутсайдерами в биологических скачках. Однако иногда (причем мы не представляем себе, насколько часто) и аутсайдер приходит первым.

Так что давайте считать аксиомой, что иногда обезьяна (или студенистый комок) ни с того ни с сего решает изобрести язык, велосипед и джаз-саксофон. Долго ли продлится эта сладкая жизнь? Как мы видели, Энрико Ферми полагал, что раз уж цивилизация зародилась, она обязательно проживет очень долго и будет навязываться остальным, а значит, следовало бы ожидать, что она уже давным-давно вселилась бы в соседний дом и заявила с визитом.

Дж. Ричард Готт в 1993 году выдвинул свой «принцип Коперника» по этому вопросу. Он сделал очень простое предположение: вы не уникальны^[132].

И это очень разумное предположение, поскольку история показывает, что стоит нам вообразить, будто мы нечто особенное и пуп мироздания, оказывается, что мы не правы. Земля — самое заурядное местечко в Солнечной системе, всего-навсего третья планета из восьми. Солнце — отнюдь не центр галактики: оно расположено от центра на расстоянии целых 25 тысяч световых лет. Наша Галактика — не центр Вселенной. В общем, в нас нет ничего особенного. Когда мы начали изучать планеты вне Солнечной системы, то пришли к выводу, что даже Земля, каменная планета с пригодными для жизни параметрами, совсем не так уж необычна. А значит, вполне может быть, что мы ничем не примечательный биологический вид в ряду других ничем не примечательных видов. Все сводится к следующему: в любом распределении мы окажемся где-то посерединке, хотя и не прямо в центре. Представьте себе том в сто страниц, в котором микроскопическим шрифтом перечислены все люди на свете — все, кто когда-то жил, и все, кто еще не родился, — в хронологическом порядке по дате рождения. Будет, мягко говоря, странно, если вы найдете свое имя на первой или последней странице тома. В самом начале или в самом конце цивилизации окажутся лишь 2 % населения. Ну что, почувствуете себя везунчиком?

Как правило, физики публикуют результат, если уверены в нем на 95 %, а это значит, что в нашем примере вы окажетесь «средними», если будете жить между первыми 2,5 % человечества и последними 2,5 %. В начале шкалы окажется, что после вас будет жить в 39 раз больше народу,

чем до вас, а в конце шкалы — что после вас будет жить $1/39$ всех тех, кто жил до вас.

Представим себе, что на всем протяжении истории человечества, и в прошлом, и в будущем, население планеты оставалось и будет оставаться постоянным. Мы это делаем для упрощения вычислений, а также потому, что это не слишком сильно влияет на результат. Если мы говорим, что человечество в том или ином виде существует примерно 200 тысяч лет (а это довольно-таки произвольное число, и мы отдаем себе в этом отчет), значит, мы с уверенностью в 95 % можем сказать, что человечество просуществует еще от 5128 до 7 800 000 лет. Приятно думать, что Судный день не на носу, но грустно сознавать, что у человечества тоже есть срок годности.

И это еще не все. Представьте себе цивилизацию, которая изобрела межзвездные путешествия и колонизирует отдаленные уголки галактики. Тогда у вас было бы гораздо больше шансов родиться на планете-колонии, чем на планете-метрополии до изобретения космических путешествий, а это и есть парадоксальная часть парадокса Ферми. Получается, что либо мы невероятно везучие прародители межзвездной империи, либо и мы, и наши потомки обречены жить на Земле.

Разумеется, это всего лишь вероятностное умозаключение.

Со всеми этими статистическими играми есть одна неприятность: в уравнении Дрейка столько неизвестных, что мы не в состоянии добиться даже точности в один порядок, то есть в десять раз, а иногда — и в два порядка, то есть в сто раз. Например, Дрейк подставил в него числа, которые считал разумными, и подсчитал, что в нашей Галактике может быть еще 10 разумных цивилизаций. Надежда на это и стала одним из основных стимулов работы **SETI**.

Но на самом деле количество цивилизаций может оказаться в 100, а то и в 1000 раз меньше. Уже одно это поневоле остудит горячие головы. В конце концов, одна тысячная оценки Дрейка означает, что в галактике размером с нашу мы вправе ожидать в среднем около 0,01 разумной цивилизации, готовой сеять сладость и свет в остальной вселенной. Но это неправда! Ведь мы-то знаем, что в нашей Галактике есть по крайней мере одна разумная цивилизация — наша. Уравнение Дрейка может служить основой для примерных оценок, но с какой точностью?

Нам часто говорили^[133]: «Снаряд не попадает дважды в одну воронку».

Вот что это означает в нашем случае: вероятность зарождения

разумной жизни хотя бы на одной планете (на Земле) настолько мала, что вероятность зарождения разумной жизни и на Земле, и еще где-то практически равна нулю. Но ведь точнее сказать иначе — снаряд очень редко бывает только один. А значит, если мы возьмем одну конкретную звезду и спросим, сможет ли на ней зародиться разумная жизнь, шансы будут крайне малы. С другой стороны, Земля выбрана не случайно: если бы на ней не было разумных существ, мы не завели бы этот разговор.

IV. Каковы шансы, что на нашей планете не зародилась бы разумная жизнь?

Ну вот, приехали: обсуждаем возможность собственного существования. Но на Луне такую дискуссию не проведешь — там нет разумных лунян (не лунатиков же), и некому ее затеять. Сам факт, что вы (или другое разумное существо) участвуете в этой беседе, с необходимостью предполагает, что она происходит в мире, где могла развиваться разумная жизнь.

То же самое в еще большей степени справедливо для нашей Вселенной. Пока что мы прекрасно сумели открыть набор физических законов, описывающих Вселенную в целом. Но беда в том, что в пределах стандартной модели существуют буквально десятки чисел, которые мы получили эмпирическим путем и не могли бы вывести даже под страхом смертной казни, и об этом очень часто забывают в научных диспутах. Нам нравится думать, будто за этими числами стоит некий набор принципов, просто мы пока не знаем, что это за принципы.

Мы не знаем, почему электроны, кварки и нейтрино обладают именно такими массами. Мы не знаем, почему силы фундаментальных взаимодействий именно таковы, какие они есть. Небольшие изменения этих параметров могли бы радикально изменить Вселенную. Скажем, если бы слабое взаимодействие было еще слабее, все протоны и нейтроны почти сразу после Большого взрыва превратились бы в гелий. А как вам, вероятно, известно, гелий принадлежит к числу благородных, или инертных, газов, которые называются так потому, что не взаимодействуют с другими. Иначе говоря, если бы слабое взаимодействие было еще слабее, у нас не было бы водорода. Нет водорода — нет химии. А нет химии — нет и нас с вами.

А вот вам другой пример: если бы электроны были капельку легче, чем есть, то им было бы проще ускоряться, и они легко приближались бы к скорости света, а значит, нельзя было бы формировать звезды. В звездах образуются тяжелые элементы, в том числе углерод, необходимые для возникновения жизни. Мало массы у электронов — нет звезд. Нет звезд — нет жизни.

А что если все эти числа и константы не внедрены в фундаментальную физику Вселенной? Что если все они на самом деле случайны? Если бы какие-то из десятков параметров были бы хоть немного иными, нас бы не

существовало! Более того, если предположить, что для существования других разумных существ необходима вода (или по крайней мере сложные химические соединения), во Вселенной вообще могло не оказаться ни одного разумного вида.

Тот факт, что мы существуем и способны рассуждать о крайней маловероятности собственного существования, называется «антропным принципом» — это выражение ввел в 1974 году Брендон Картер, указав при этом: «То, что мы ожидаем наблюдать, должно ограничиваться условиями, необходимыми для нашего присутствия как наблюдателей». Это утверждение очевидно точно, потенциально полезно, но при этом «серьезные» физики часто отмахиваются от него или даже отказываются его обсуждать.

Основная идея заключается в том, что если бы Вселенная не была настроена именно на то, чтобы в ней была возможна разумная жизнь, каким бы маловероятным ни было ее зарождение, то разумная жизнь не могла бы это обсуждать. Была ли Вселенная предназначена для нас? Большинство физиков (и мы в том числе) так не думают. Является ли наша Вселенная всего лишь одной из многих? Вероятно. Мы говорили о параллельных вселенных, но не исключено, что наша Вселенная — одна из множества частей громадной мультивселенной. Вероятно, лишь крошечная доля этих частей обладает условиями, необходимыми для жизни, но мы, естественно, живем именно в такой Вселенной.

Разумеется, фундаментальная физика приходит и к более осмысленным выводам, чем тот, что наша Вселенная по случайности поддерживает жизнь. Однако с вероятностной точки зрения представляется, что пока мы одни-одинешеньки.

Нас часто спрашивают, насколько соблюдены все законы физики в том или ином фильме или сериале. Обычно такие вопросы задают *киношники*, которых интересует качество своей продукции. Наш ответ? Не очень. Дело не в том, что режиссеры и сценаристы вечно все путают, — просто выдуманная физика еще интереснее. Тем не менее мы приведем здесь список самых распространенных и крупных научно-фантастических ошибок — отнюдь не полный:

1. Нельзя двигаться со скоростью быстрее скорости света. Пространство велико, и никому не интересно смотреть сериал, который идет несколько веков. Практически все популярные сериалы и фильмы так или иначе нарушают этот закон, сочиняя то нуль-транспортровку, то

сверхсветовые звездолеты, то кротовые норы.

2. Поскольку заставлять актеров болтаться в воздухе в звездолете или на космической станции нелепо, да и дорого, научная фантастика обычно вводит в действие искусственную гравитацию. На самом деле создать ее можно тремя способами: вращать корабль («Космическая Одиссея-2001»), наспиговать его магнитами или постоянно ускорять, как во время нашего путешествия на Альфу Центавра. В большинстве фильмов, однако, от всего этого отказываются и просто говорят о «системе искусственной гравитации», делая этакий реверанс физике.

3. Какая может быть научная фантастика без красоток-инопланетянок? Как мы пытались показать в этой главе, видов пришельцев, скорее всего, не так уж много, и расположены они далеко друг от друга. То же самое можно сказать и о «Планетах типа М». Забросьте человека на случайно выбранную планету в нашей Галактике — и он задохнется, сгорит или замерзнет за считанные минуты. Еще он, конечно, может разбиться. Ребята, запомните, в космосе пусто, хоть шаром покати.

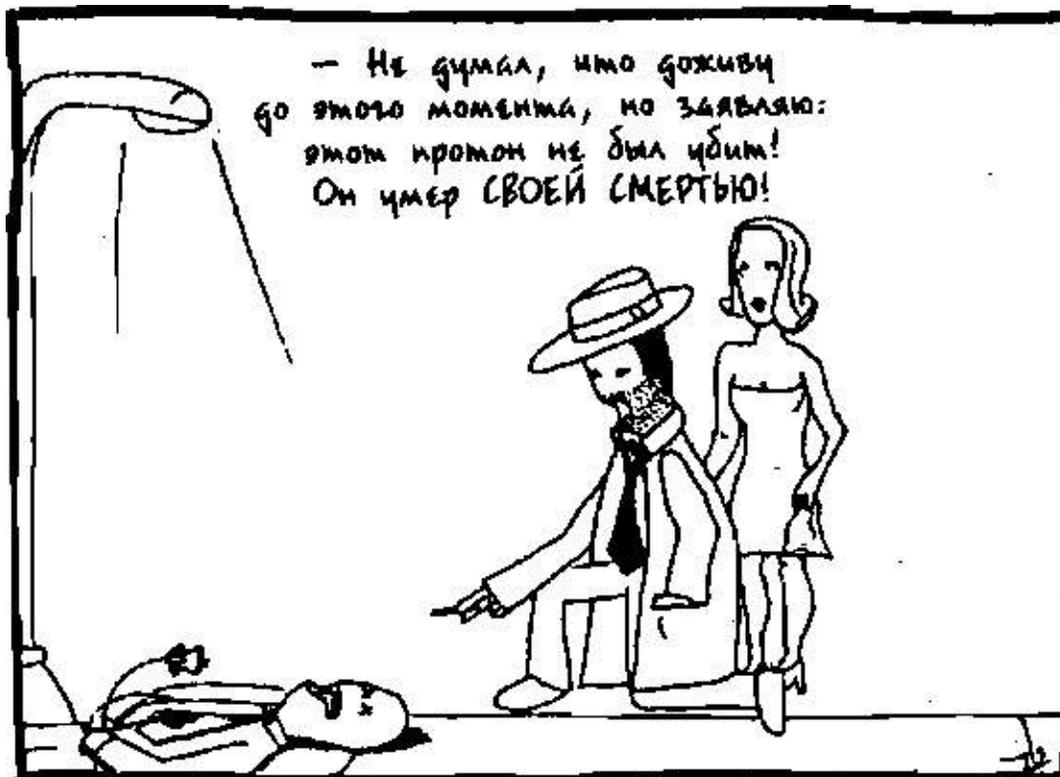
4. Мы с уважением относимся к большинству сюжетов о создании машины времени, соответствующей законам физики (примеры конструкций мы приводили в главе 5). Однако почти во всех фильмах и сериалах грубо попираются два главных правила. Во-первых, героям каким-то образом удается забраться в прошлое до изобретения машины времени; во-вторых, сочинители позволяют персонажам менять свое прошлое.

Она заморочила мне голову...
научной фантастикой!

Название				
Галактика «Батлстар» (2003–2009)				Нет сведений
Бак Роджерс в XXV веке (1979–1981)				
Светлячок (2002–2003)				Нет сведений
Затерянные в космосе (1965–1968)				
Квантовый скачок (1989–1993)	Нет сведений	Нет сведений	Нет сведений	
Звездный путь (1987–1994)				 / 

Глава 9. БУДУЩЕЕ

ГЛАВА 9



Чего мы не знаем?

Если научная фантастика прошлых лет имеет хоть какое-нибудь значение, наша планета уже давно должна была бы кишмя кишеть киборгами, которые чуть что размахивают лазерными мечами, превращаются в огнеметы и питаются зелеными пищевыми концентратами из планктона. У нас есть ОРЯ-навигация и беспроводные клавиатуры, но где наши колонии на Луне? И нельзя винить в этом писателей-фантастов. Предсказать будущее очень трудно. Например, кто мог предсказать, что мы будем рассуждать о десятимерном пространстве или об ускорении Вселенной, состоящей в основном из темной материи и темной энергии?

Мы посвятили много времени описанию нынешнего положения дел в физике, но то и дело были вынуждены укрادкой отходить от определенных

заявлений и предаваться робким спекуляциям. Невежество — хорошая отправная точка, и мы выявили в наших теориях ограничения. Вероятно, мы сумеем от них избавиться, если подберем нужные инструменты^[134].

Так что пристегните портативные реактивные двигатели: последнюю главу книги мы посвятим судьбоносным вопросам, на которые, как мы надеемся — нет, как мы предсказываем! — мы сможем ответить в ближайшие двадцать лет.

I. Что такое темная материя?

Представляется, что наша Вселенная куда страннее, чем нужно. Например, мы обнаружили, что в ней царит загадочная темная энергия, а большинство остальной массы не имеет к нам никакого отношения, потому что состоит из некоей темной материи, которая не взаимодействует со светом (потому и темная), но является источником гравитации (потому и материя). Иначе говоря, это название если что и описывает, то лишь наше невежество. Это, прямо скажем, немногим лучше, чем заявить, будто гравитацию наколдовали феи.

Кое-кто из сообщества физиков сильно сомневается, что темная материя действительно существует, поскольку никаких частиц темной материи мы до сих пор не открыли. Астрофизики, в конце концов, честно делают свое дело и предлагают самые простые объяснения того, что они наблюдают, но ведь это не означает, что они обязательно правы. «Очевидная» на первый взгляд интерпретация не раз и не два оказывалась ошибочной. Очевидно, что планеты и звезды движутся вокруг Земли, и так и считали до 1500-х годов, когда Коперник предположил, что это Земля движется вокруг Солнца.

Некоторые скептики так рвутся избавиться от идеи темной материи, что предполагают нечто немислимое — Или почти немислимое: они заявляют, что Ньютон и Эйнштейн заблуждались. Было предложено множество теорий, которые пытаются подогнать эйнштейновские уравнения гравитации под данные наблюдений без опоры на всю эту жуткую темную материю. В последние годы большой интерес вызывали теории модифицированной ньютоновой динамики (*Modified Newtonian Dynamics, MOND*). Как известно, слово *mond* по-французски означает «мир»^[135].

Основной ее принцип гласит, что на небольших масштабах, например в Солнечной системе и на Земле, гравитация действует именно так, как предсказывали Ньютон и Эйнштейн, однако на более крупных расстояниях, например в масштабе галактик и больше, все обстоит несколько иначе.

Мы не собираемся отстаивать общую теорию относительности только потому, что это любимое детище Эйнштейна. Он много в чем ошибался^[136].

С другой стороны, общая теория относительности крайне «элегантна», а на жаргоне физиков это означает, что поскольку уравнения так просты,

трудно представить себе, что они неверны. А принять **MOND** в ее нынешнем виде нам трудно, поскольку она предлагает вместо одной необъяснимой константы (количество темной материи) другую (масштаб, на котором гравитация из «нормальной» становится «модифицированной»).

Хуже того, при помощи **MOND** очень трудно объяснить все наблюдения, согласующиеся с наличием темной материи. **MOND** великолепно отвечает на вопрос, который стоит перед нами уже сто лет и заключается в том, что во Вселенной не хватает массы, чтобы удерживать вместе галактики и скопления звезд. Поскольку **MOND** решает эту задачу, нам не нужна никакая темная материя — по крайней мере так говорят.

Но и это еще не все! Наблюдения некоторых звездных скоплений, в частности скопления «Пуля», при помощи метода гравитационных линз недвусмысленно показывают, что существуют крупные объемы материи, никак не связанные ни со звездами, ни с газом. Наблюдения далеких сверхновых доказывают, что темпы расширения Вселенной меняются со временем, намекая на то, что материи в ней гораздо больше» чем объясняет наличие одной только барионной материи. Наконец, все свидетельствует о том, что с космологической точки зрения Вселенная плоская — что, в свою очередь, лишний раз подтверждает, что 85 % массы Вселенной — темная.

Мы готовы поставить все наши деньги за то, что существует частица, на которой ясно написано «темная материя», — частица, которая, как сказали бы французы, станет *le fin du MOND* — «концом света».

Чем не может быть темная материя?

Примем за данность, что темная материя существует, но умеет ловко прятаться. Хотя мы еще не знаем, что такое темная материя, мы кое-что знаем о том, чем она быть не может. Заряда у нее нет, иначе она бы взаимодействовала со светом. Кроме того, это означает, что ее нельзя ощутить. Все, что вам случалось трогать, как-то «ощущается», поскольку электрические поля вашей руки отталкиваются от электрических полей всего того, что вы пытаетесь потрогать. Если нет электрического поля, ваша рука пройдет сквозь предмет, а вы ничего и не заметите.

В стандартной модели физики имеется лишь две известные частицы, которые можно подозревать в причастности к темной материи, — нейтрино и нейтрон. К сожалению, нейтрино обладает слишком маленькой массой, а

одиноким нейтроном распадаются минут через десять. Поскольку Вселенная несколько старше, нейтроны — не совсем то, что мы ищем. Может показаться, будто на данный момент у нас нет верного кандидата, но не надо забывать, что физики необычайно хитроумны, и хотя пока что налицо дефицит частиц темной материи, нет никаких причин полагать, что мы ничего не придумаем^[137].

В число частиц-подозреваемых вошли аксионы, миниатюрные черные дыры, монополи Дирака, крупитцы кварков (*quark nuggets*) и многие другие. Некоторых подозреваемых, например черные дыры или монополи Дирака, оправдали на основании наблюдательных и экспериментальных данных, но подтвердить обвинение в темных делишках еще ни разу не удалось — даже отдаленно.

Однако многие физики-ядерщики полагают, что во Вселенной существуют так называемые **WIMP** — причем в огромных количествах. Слово *wimp* означает «нытик», но наши **WIMP** — это вовсе не жертвы школьной травли с вечно хлюпающими носами и бесперебойные источники карманных денег, а **Weakly Interacting Massive Particles**, то есть массивные частицы слабого взаимодействия; в очередной раз название описывает все то, что мы и так не знаем. Темная материя, конечно, обладает массой, а поскольку она не участвует в сильном и электромагнитном взаимодействии, то резонно предположить, что она участвует в слабом^[138].

Итак, **WIMP** — хорошее название в том смысле, что оно описательное, но плохое в том смысле, что оно нам почти ничего не говорит. Перед теоретической физикой стоит задача предсказать, что такое **WIMP**. В нашем случае предсказать означает не просто заявить, что они существуют. Хорошая теория должна рассказать, какая у **WIMP** масса, с какими частицами и как часто они взаимодействуют, когда и как образовались.

Суперсимметрия

Фаворит наших гонок на звание **WIMP** следует традиции, согласно которой физики выдумывают частицы, очень похожие на другие частицы. Классический пример — нейтрон. До 1920 года наука знала всего две «фундаментальные» частицы — протон, носитель положительного заряда,

и электрон, заряженный отрицательно. В то время ученые могли измерить характеристики атомных ядер, и водород, например, обладал зарядом +1, а гелий — +2. «Очевидный» вывод (основанный на данных химии) гласил, что водород состоит из одного протона, а гелий — из двух, и если бы это было так, то гелий был бы вдвое массивнее водорода. А на самом деле гелий массивнее водорода в четыре раза.

Обширный опыт изучения естественных наук позволил Эрнесту Резерфорду сделать блестящее умозаключение, что четыре больше двух. Он предсказал существование электрически нейтральной частицы, обладающей примерно той же массой, что и протон, и впоследствии эта частица получила название «нейтрон». Нам-то теперь кажется, будто все очевидно, но на самом деле это было смелое заявление. Нейтрон, подобно темной материи, не взаимодействует со светом, а значит, увидеть его нельзя. Лишь спустя 12 лет Джеймс Чедвик наконец пронаблюдал нейтрон в лабораторных условиях — и оказалось, что эта частица обладает именно теми качествами, которые предсказал Резерфорд.

Как видите, история знает много случаев, когда выдающиеся открытия начинались с того, что физики говорили: «Гм... Если бы у нас была частица, которая выглядела бы почти как вот эта, все бы замечательно сошлось с ответом... А вдруг существует неуловимая частица — и хотя мы ее почему-то не видим, она должна быть вот такой и вот такой». Такой подход, как в случае с нейтроном Резерфорда, иногда выявляет новые частицы, которые значительно упрощают картину^[139].

Физики любят симметрию, в чем мы с неудовольствием убедились в главе 4. Согласно стандартной модели, существуют шесть разных кварков и шесть разных лептонов, и каждую из этих групп можно подразделить на две группы по три частицы. В случае лептонов у нас есть три (нейтральных) нейтрино и (заряженные) электрон, мюон и тау-частица. Более того, у каждой частицы есть античастица — причем их свойства практически идентичны, и только заряд противоположен. Существует множество разных способов сгруппировать частицы — но почти всегда в конце концов мы получаем группы с равным количеством частиц. Но в одном случае симметрия дает сбой. Стандартная модель подразделяет все частицы на две группы.

1. Фермионы — составляющие материи. В число фермионов входят кварки, электроны, мюоны, тау-частицы и нейтрино — и все эти частицы, как мы только что говорили, образуют чарующе симметричную картину.

2. Бозоны — переносчики взаимодействий. Это частицы, которые переносят различные силы. В число бозонов входят фотоны, глюоны,

частицы W и Z , а также гравитон и частица Хиггса, если они существуют.

Если мы все подсчитаем, получится, что с учетом частиц и античастиц существует 28 бозонов — и целых 90 разных фермионов! Пусть количество «фундаментальных» частиц вас не пугает: большинство из них более или менее идентичны друг другу и различаются лишь несущественными деталями — например, цветом, как кварки.

Тем не менее тот факт, что количество фермионов не совпадает с количеством бозонов, откровенно обескураживает многих физиков. Почему частицы материи (фермионы) полностью отделены от сил (бозонов)? Если они две стороны одной медали, значит, фермионов должно быть в точности столько же, сколько и бозонов. Эта идея известна под названием «суперсимметрия» и предполагает, что существует уйма частиц, которых мы никогда не видели. Поскольку все эти частицы полностью гипотетичны, мы даем им смешные названия, похожие на марки макарон: «гравитино», «нейтрадино» (очередной кандидат на звание темной материи) и (наша любимая частица — уж больно остроумное у нее название) «вино» с ударением на «и» — суперсимметричный партнер W -частицы.

Эти частицы ведут себя почти как их обычные частицы-партнеры. Если бы суперсимметрия действительно была совершенной симметрией, тогда частица вино^[140] обладала бы той же массой, что и частица W , селектрон^[141] — той же массой, что и электрон, и так далее.

Разумеется, если бы это было так, мы уже давно получили бы эти частицы в наших ускорителях. Если суперсимметрия существует, то она должна быть неполной — а значит, суперсимметричные партнеры, скорее всего, куда массивнее оригиналов.



Суперсимметричные частицы, подобно нейтрону, умели распадаться. Подобно тому, как массивные частицы распадаются на более легкие, вероятно, сейчас остались только легкие, поскольку им не на что распадаться. Все они называются общим термином «легчайшие суперсимметричные частицы» (*Lightest Super symmetric Particles, LSP*), и многие физики полагают, что это нейтралино. Если эта частица существует, то не исключено, что это и есть та самая частица темной материи, которую мы ищем.

Но мы обязаны сделать одно важное уточнение. На сегодняшний день данные наблюдений не дают ни малейших свидетельств, подтверждающих правильность суперсимметрии. Это физика «за пределами стандартной модели», а значит, объяснить все известные нам факты физики частиц можно и без суперсимметрии. Однако в прошлом мы великолепно подмечали симметрии, и всегда есть шанс, что симметрия и впредь поможет нам расширить свои знания о Вселенной.

Как мы их находим?

Так из чего же состоит темная материя — из *LSP* или из чего-нибудь еще? Если темная материя состоит из каких-то разновидностей *WIMP*, обнаружить их будет относительно несложно — вот почему мы так уверены, что их откроют в ближайшие несколько десятилетий. Произведем краткий обзор состояния наших знаний на сегодняшний день. Мы с очень хорошей точностью знаем плотность массы темной материи во Вселенной, так что или у нас очень много легких *WIMP*, или относительно мало очень массивных. Мы точно знаем, что *WIMP* не могут быть слишком легкими, меньше массы протона, поскольку уже построили множество ускорителей, способных создавать легкие частицы, но пока что никаких *WIMP* не видели.

С другой стороны, *WIMP* могут быть очень тяжелыми и при этом не противоречить космологическим наблюдениям. Как мы уже объяснили, было жизненно необходимо, чтобы *WIMP* на ранних стадиях развития Вселенной умели превращаться в обычную материю, которую мы наблюдаем теперь, и наоборот, что задает нижний предел того, насколько темная материя способна взаимодействовать с обычной. Этот нижний предел взаимодействия задает и верхний предел массы частицы темной материи — она составляет 40 тысяч масс протона, хотя это очень завышенная оценка, поскольку большинство теорий предсказывают, что масса *WIMP* составляет меньше тысячи масс протона.

Нам нужно вычислить массу частицы темной материи и разобраться, в каких взаимодействиях эта частица участвует, а потом посмотреть, соответствуют ли эти данные суперсимметрии, теории струн или еще чему-нибудь. Однако получить частицы темной материи экспериментально очень трудно, поскольку они буквально утекают сквозь пальцы. Тем не менее мы располагаем несколькими способами узнать их характеристики.

1. Сделайте их сами.

В главе 4 мы уделили много времени разговору о том, как создавать в ускорителях массивные частицы вроде частицы Хиггса. А вдруг там можно создать и частицы темной материи? Конечно, частицы темной материи, как и нейтральную частицу Хиггса, руками не потрогаешь и на стол не положишь, но мысль эта здравая. Столкните друг с другом две частицы с достаточной энергией — и рано или поздно вы получите *WIMP*. Однако измерение их массы будет основано на том, чего мы не видим. Массой *WIMP* будет энергия, недостающая в балансе энергии столкновения (и масс сталкивающихся частиц) и энергий (и масс) вылетевших частиц.

2. Их полно кругом!

Мы уже говорили и снова повторим^[142], что буквально купаемся в темной материи, но не в состоянии засечь ее прямо, не считая гравитации (которая у отдельных частиц пренебрежимо мала) или слабого взаимодействия (которое вообще пренебрежимо мало, и точка).

Тем не менее кое-что нам под силу — например, сделать ванны из жидкости, которая, будучи предоставлена сама себе, ни с чем не взаимодействует. Едва ли не самое масштабное мероприятие такого рода — это проект **XENON100**, в котором участвует около 120 килограммов жидкого ксенона. Ксенон выбран потому, что в нормальных условиях он не взаимодействует с другими материалами и не распадается. По мысли исследователей, если поместить детекторы глубоко под землю и внимательно следить, чтобы туда не попадали космические лучи, то при нормальных обстоятельствах необъяснимых сигналов быть не должно.

Установив ванны и детекторы, ученые просто сидят и ждут, когда мимо проскочат частицы темной материи. Может статься, такая частица ударит в протон, а протон выдаст излучение, которое удастся засечь. Пока что ни одной частицы мы не видели, но возлагаем большие надежды на детекторы нового поколения — которые куда чувствительнее.

3. Пусть Вселенная потрудится за вас.

Главное в **WIMP** — то, что их полным-полно^[143], пространство ими так и кишит.

Как бы слабо они ни взаимодействовали, они все же вступают во взаимодействия. Что будет, если столкнуть **WIMP** и анти-**WIMP**? Как правило, ничего. Скорее всего они просто пройдут друг сквозь друга. А может быть, сделают то же самое, что делали все частицы и античастицы с начала времен, — уничтожат друг друга, и создадут гамма-излучение. Если направить телескопы в нужную сторону, мы, вероятно, увидим свет, возникший в результате этих столкновений.

Предположительно смотреть стоит именно в ту сторону, где больше массы. Беда в том, что при таком подходе массу следует искать именно в центре галактики, а там происходит много других событий — например, в центральную черную дыру падает вещество, — отчего тоже возникает высокоэнергичное гамма-излучение. Отличить сигнал от помех будет очень трудно, поэтому пока что достоверных наблюдений сделано не было.

В 2008 году НАСА в сотрудничестве с министерствами энергетики США, Франции, Германии, Италии, Японии и Швеции запустило на орбиту гамма-обсерваторию им. Ферми. Этот космический телескоп позволит нам

исследовать центр галактики, а также звездные скопления, потенциальные черные дыры и другие излюбленные места обитания темной материи.

Хотите верьте, хотите нет, а у темной материи остается все меньше тайных убежищ.

II. Долго ли живут протоны?

Мы, создатели «Руководства», считаем себя психологами-любителями^[144].

Мы предполагаем» что люди увлекаются физикой, потому что боятся катаклизмов, черных дыр и конца света либо надеются все о них узнать. Ведь и вы, проезжая мимо автомобильных аварий, всегда притормаживаете, чтобы посмотреть, правда?

Мы не станем подвергать ваши стимулы сомнению, поскольку они такие же, как у нас, и неважно, здоровые они или нет. Мы уже уделили много времени разговорам об исчезновении черных дыр, которое ждет нас в далеком будущем, и о так называемом втором законе термодинамики, согласно которому с течением времени Вселенная превратится в тепловатый бассейн, в котором не будет никакой речи ни о структуре, ни о жизни в том виде, в каком мы ее знаем. Мы даже упомянули о том факте, что Вселенная подвержена бесконечному экспоненциальному расширению, вызванному темной энергией. Оно будет продолжаться, пока каждая галактика не превратится в остров, полностью отрезанный от остальной Вселенной. Трудно представить себе более унылое будущее.

Но когда общаешься с физиком, всегда следует ожидать худшего. Что если мы вам скажем, что с течением времени сама материя будет медленно выкипать и испаряться?

Конец материи

Да, мы знаем, что всерьез испортим вам настроение, поэтому первым делом поймите, что все это случится далеко не завтра. Когда речь идет о галактиках, черных дырах и испаряющейся материи, мы говорим даже не о миллионах и не о миллиардах лет. Мы говорим о периодах времени в триллионы миллиардов раз больше нынешнего возраста Вселенной. Учитывая, сколько гадостей произойдет за это время, гибель материи можно смело поместить в самый низ перечня ваших страхов.

Задаваясь вопросом о распаде материи, мы с практической точки зрения задаемся вопросом о распаде протонов. Мы уже говорили, что при

всяком удобном случае нейтрон распадается на протон и кое-что еще, но только потому, что он тяжелее протона. Протон — самый легкий из барионов, поэтому мы ожидаем, что он сколько-то проживет.

Вопрос в том, сколько именно, и на это стандартная модель дает простой недвусмысленный ответ. Вечно. Протоны не распадаются, поскольку общее число барионов должно сохраняться. Поскольку протон — самый легкий барион, распадаться ему не на что.

Но если эта глава чему-то успела вас научить, так это тому, что стандартная модель отвечает отнюдь не на все вопросы. Если реакция идет в одном направлении, значит, должна иметь место и обратная реакция. Наверняка когда-то, еще во время Большого взрыва, было время, когда барионы создавались из ничего. С этой научной проблемой мы встретились в главе 7, когда обнаружили, что если бы барионы с антибарионами всегда создавались только парами, то и аннигилировать они должны тоже парами. Вы живое и ходячее доказательство того, что в какой-то момент все-таки имело место превосходство барионов над антибарионами! Вам повезло.

Вероятно, выработка лишних барионов имела место в конце периода инфляции, примерно через 10^{-32} секунды после Большого взрыва, а значит, она, вероятно, имела какое-то отношение к унификации электрослабого и сильного взаимодействий. Если закон сохранения количества барионов не действовал тогда, то и сейчас он в некоторой степени тоже не действует.

Представьте себе, что у вас есть собственная великая теория унификации (ВТУ). Первым делом мы бы спросили у вас, сколько, согласно вашей ВТУ, живет типичный протон. Согласно практически всем этим теориям до единой, протоны в конце концов распадаются на позитрон и еще одну частицу под названием пион. Главное различие между разными теориями — средняя продолжительность жизни протона. И это хорошо. Это значит, что если мы сумеем выяснить, сколько живут протоны, то у нас появится отменный критерий точности различных ВТУ — по крайней мере мы сможем тут же просеять эти теории сквозь частое сито.

Где же он, распад протонов?

Некоторые из ранних моделей ВТУ предсказывали, что протон живет примерно 10^{31} лет. Это очень-очень долго. Гораздо больше возраста

Вселенной, поэтому вы вправе предположить, что физики, которые выдвинули эти модели, просто взяли наугад протон-долгожитель и решили, что все равно никто не проживет настолько долго, чтобы опротестовать их нобелевский банковский счет.

К счастью, нам не нужно брать протончик, класть его на стол и ждать, когда он превратится во что-нибудь другое, — у нас есть методы и получше. В 1980-х годах ученые поняли, что для этого нужно построить гигантские подземные бассейны со сверхчистой водой^[145].

Главная цель таких экспериментов — посмотреть, распадется ли хоть один протон в бассейне, если оставить его в покое. Если да, то заряженные частицы, создавшиеся при распаде, промчатся по бассейну и испустят излучение, которое будет зафиксировано детекторами. Поскольку протонов много, разумно предположить, что, если наблюдать достаточно долго, хоть один да покинет сию юдоль скорби.

Что-то подобное мы видели в главе 3, когда говорили о космическом генераторе случайных чисел. Представьте себе, что протон и в самом деле живет 10^{31} лет. Это значит, что каждый год космический генератор случайных чисел бросает игральную кость, у которой 10^{31} граней, по одному разу на каждый протон в бассейне. Если у генератора выпадет единичка, соответствующий протон распадается. «Супер-Камиоканде» находится в шахте Моцуми неподалеку от японского города Хида, эксперименты подобного рода идут уже 25 лет, и еще ни разу не было засвидетельствовано ни одного распада^[146].

Это хорошие новости, поскольку отрицательный результат означает, что в обозримом будущем нам не придется спонтанно распадаться на высокоэнергичные частицы. С другой стороны, это плохие новости для некоторых ВТУ, поскольку теперь их можно легко опровергнуть. В наши дни остается все меньше и меньше моделей, соответствующих все — более и более долгой минимальной жизни протонов, но многие из них предполагают примерно 10^{36} лет.

Учитывая, насколько мы близки к точному определению этого периода, стоит ли удивляться, что мы уверены, будто определим его совсем скоро?

III. Какова масса нейтрино?

Обсуждая кандидатов на роль темной материи, мы поговорили и о нейтрино и тут же отмели его. «Легковат», — сказали мы. Если бы вы спросили нас, какова на самом деле масса нейтрино, мы бы начали ерзать и опускать глаза. Попросту говоря, мы не знаем, а долгое время вообще полагали, что нейтрино лишены массы. Оказывается, это не так, но первые признаки того, что нейтрино обладают массой, мы пронаблюдали практически случайно.

Природные фабрики нейтрино

Нейтрино — этакие проказливые чертенята. Поскольку они участвуют только в слабом взаимодействии, их нельзя взвесить, а поскольку они электрически нейтральны, на них не действуют электромагнитные поля. Зато мы можем создавать их в ядерных реакторах, и природные реакторы, они же звезды, производят их в изобилии.

Мы расскажем вам одну историю. Примерно 160 тысяч лет назад в одной галактике неподалеку от нас — в Большом Магеллановом Облаке — произошла вспышка сверхновой. Поскольку свет добирается до нас не мгновенно, увидели мы эту вспышку лишь в 1987 году, и это было одно из самых примечательных астрономических событий в истории человечества. Вместе с излучением во время вспышки высвободилось громадное количество нейтрино — настолько громадное, что очень много нейтрино долетели до Земли. Нам повезло, у нас были наготове мощные детекторы, и мы засекли пик нейтрино в тот самый момент, как только увидели свет вспышки. То есть нейтрино прибыли к нам если не со скоростью света, то по крайней мере настолько близко к скорости света, что мы не были в состоянии отметить разницу. Это было предпоследнее свидетельство в пользу того, что если нейтрино и не лишены массы, они необычайно легкие даже по субатомным стандартам.

Наверное, вы думаете, будто то, что мы установили и настроили мощные детекторы как раз перед вспышкой сверхновой 1987А — это крайнее везение. Ну что вы, везение тут ни при чем, и вам это станет

понятно, когда мы расскажем, как выглядят некоторые детекторы нейтрино. Это гигантские подземные бассейны с суперчистой водой. Вспомнили? Ну конечно. Многие из установок для опытов по распаду протонов в результате сослужили двойную службу^[147] — стали обсерваториями нейтрино.

Предсказать вспышку сверхновой невозможно, поэтому представляется несколько неконструктивным дожидаться сверхновой в надежде наловить нейтрино. К счастью, сверхновые — не единственные фабрики нейтрино. Наше собственное Солнце вырабатывает нейтрино в похожих количествах вместе с фотонами в ходе своих термоядерных упражнений. Просто фотоны больше бросаются в глаза.



ПЕЧАЛЬНО ЗНАМЕНИТЫЙ ПОХИТИТЕЛЬ НЕЙТРИНО

Ловлей нейтрино мы занимаемся уже довольно давно. В 1960-е годы большой интерес вызывали попытки засечь нейтрино с Солнца, поэтому Раймонд Дэвис из Брукхавенской национальной лаборатории и Джон Бакалл, который тогда работал в Калифорнийском технологическом институте, возглавили работу по строительству... да, вы угадали: гигантского подземного бассейна. Обсерватория Хоумстейк, построенная в

заброшенных золотых копях в Южной Дакоте, на самом деле была бассейном на тысячи Кубометров, наполненным моющим средством^[148].

Нейтрино влетает, ударяется о какой-нибудь атом хлора, превращает хлор в радиоактивный аргон, а аргон распадается, испуская свет. Проще некуда!

Единственная сложность состоит в том, что детекторы не принесли ожидаемых результатов. Бакалл предсказывал, что будет получено раза в два-три больше нейтрино, чем засекали на самом деле. Последующие эксперименты, в которых вместо моющего средства использовалась вода, показали то же самое.

Кто-то крадет почти все нейтрино! Но кто?!

Подлог и мошенничество в мире нейтрино

До сих пор мы старательно обходили некоторые вопросы, которые, вероятно, возникли у вас при осмотре нашего полицейского архива в главе 4. Существует три разных типа нейтрино — электронное, мю и тау. Мы не рассказали, чем они различаются, однако в процессе термоядерного синтеза образуются именно электронные нейтрино, поскольку в процессе участвуют еще и электроны. Первые детекторы нейтрино регистрировали только электронные нейтрино, а остальные два типа оказывались попросту невидимыми. Вероятно, «исчезнувшие» нейтрино каким-то образом (по мановению волшебной палочки?) превращались из электронных нейтрино во что-то другое.

Красота физической науки^[149] заключается в том, что можно взять на первый взгляд несовместимые идеи, чтобы объединить и истолковать явления, которые иначе ничем не объясняются.

Рассмотрим три соображения — вроде бы никак не связанные между собой.

1. Частицы, которые представляются нам одинаковыми, например электрон со спином, направленным вниз, и электрон со спином, направленным вверх, на самом деле при некоторых обстоятельствах ведут себя как разные частицы. Верно и обратное. Две частицы, которые представляются нам разными, при некоторых обстоятельствах ведут себя как одинаковые. Например, протоны и нейтроны ведут себя совершенно

одинаково, когда происходит только сильное взаимодействие. Если разница достаточно велика, мы говорим, что это две разные частицы, а если разница незначительна (например, электрон со спином, направленным вниз, и электрон со спином, направленным вверх), говорим, что это два разных состояния одной и той же частицы.

2. Многие частицы не находятся в том или ином конкретном состоянии, а являют собой сочетание двух и более разных состояний. В главе 3 мы видели, что направление спина электрона совершенно случайно и становится определенным, только если мы его наблюдаем. Иначе говоря, он одновременно направлен вверх и вниз, и каждое состояние может быть наблюдаемо с некоторой вероятностью. Квантовая механика изобилует частицами, которые одновременно предаются двум (на первый взгляд) взаимоисключающим занятиям.

3. Частицы ведут себя как волны. Когда мы рассказали вам об этом в главе 2, то пренебрегли одной тонкостью, которая сейчас окажется нам полезной. Если «волна» осциллирует (то есть колеблется) между двумя различными состояниями, то чем больше разница в энергии между этими состояниями, тем быстрее будут осцилляции.

А теперь объединим эти три соображения, соберем с духом и сделаем обескураживающее, однако совершенно верное предположение — нейтрино разных видов могут превращаться друг в друга.

Эксперименты показали, что у нас есть три разновидности нейтрино: одно взаимодействует с электроном, другое — с мюоном и третье — с тау-частицей. Мы представляем себе электрон как комбинацию двух частиц — электрона со спином, направленным вниз, и электрона со спином, направленным вверх; так вот и нейтрино тоже можно представить себе подобным же образом. Давайте считать, что существует три разных типа нейтрино — № 1, № 2 и № 3 в порядке увеличения массы.

Нейтрино № 1 состоит по большей части из электронного нейтрино в сочетании с хорошей дозой мю-нейтрино и капелькой тау-нейтрино. Нейтрино № 2 устроено иначе, а нейтрино № 3 представлено третьим набором качеств. Неважно, как мы будем их называть — тремя состояниями одной частицы или тремя разными частицами. Важно другое: нейтрино не будут выглядеть каждый раз одинаково. Это соображение получило название осцилляции нейтрино, поскольку нейтрино осциллируют между тремя «личинами» — электронным, тау и мю.

Где же тут красота? А вот где: все это возможно, только если нейтрино обладают массой, мало того, **разной** массой. Это прямо следует из квантовой механики. Если они не обладают разной массой, значит, энергия

между разными состояниями равна нулю ($E = mc^2!!!$), никакой нейтринной осцилляции не будет, и мы не будем наблюдать это явление.

Как измерить разницу в массах

Понять, что нейтрино осциллируют и, следовательно, обладают массой, достаточно просто, это почти что очевидно, но взвесить их на практике трудно — поскольку эксперимент должен быть чистым и с соблюдением ряда условий.

1. Разживитесь атмосферой и подвергните ее бомбардировке космическими лучами. К счастью, атмосфера у нас уже есть. Космические лучи атакуют молекулы воздуха и в числе прочего производят антинейтрино — мю и электронные.

2. Выройте глубоко под землей большой бассейн, наполните сверхчистой водой и снабдите детекторами. Поскольку мы все равно дожидаемся распада протона, такие бассейны у нас тоже уже есть.

3. Подсчитайте электронные и мюонные антинейтрино и посмотрите, сходится ли ответ.



Если нейтрино обладают массой, то на пути из атмосферы к датчику множество мюонных антинейтрино превратятся в электронные антинейтрино, так что детектор нейтрино обнаружит дефицит нейтрино по сравнению с ожидаемым количеством.

В 1998 году этот эксперимент напал на золотую жилу — на «Супер-Камиоканде» первыми обнаружили недвусмысленные признаки осцилляции нейтрино, а следовательно, нейтрино обладают массой. Последующие эксперименты это подтвердили и наложили ограничения на массу нейтрино.

Наверное, вы понимаете, что без осложнений не обошлось. Первое осложнение — в ходе экспериментов масса нейтрино измерена не была, зато выяснилось соотношение нейтрино разных типов, например количество мю-нейтрино в нейтрино № 1. Стандартная модель не дает нам абсолютно никаких объяснений, почему нейтрино смешиваются именно в таком соотношении, а между тем нам крупно повезло, что эти соотношения именно таковы. Иначе было бы крайне трудно обнаружить тот факт, что они вообще смешиваются.

Второе осложнение — непонятно, почему у нейтрино вообще есть масса. Стандартная модель изначально не предполагает массу у нейтрино,

и большинство изданных в последнее время учебников по физике частиц предполагают, что нейтрино лишены массы. Но если считать, что масса у них все-таки есть, почему она такая маленькая? Нынешний верхний предел для массы нейтрино — примерно в миллион раз меньше массы электрона, самой легкой элементарной частицы, масса которой установлена. Ответа на этот вопрос у нас нет, как нет и никакой причины выбрать то или иное значение массы.

Третье осложнение — то, что массу нейтрино в результате этих экспериментов узнать невозможно. Математические выкладки позволяют только выяснить разницу между квадратом масс разных типов нейтрино. Если мы сумеем вычислить массу одного из типов, будет проще простого подсчитать массы остальных двух.

Как найти абсолютное значение масс

Последние двадцать лет физики ставят перед собой цель вычислить абсолютные значения масс нейтрино, а для этого надо узнать, какова масса какого-нибудь одного типа нейтрино. В Германии сейчас ставят эксперимент под названием **KATRIN** в надежде, что он сумеет непосредственно установить массу электронного нейтрино.

Устройство эксперимента относительно просто. Берете большой чан трития^[150].

Тритий — сравнительно редкая разновидность водорода, состоящая из 1 протона и 2 нейтронов. Он довольно-таки нестабилен, поэтому в скором времени начнет распадаться на гелий-3, а главное — испустит электрон (засечь который проще простого) и электронное нейтрино, существование и энергию которого можно будет вычислить. Поскольку мы знаем общее количество энергии, которое выделится при распаде, и можем измерить количество энергии электрона, значит, вся остальная энергия будет принадлежать нейтрино. А поскольку мы пронаблюдаем очень много распадов отдельных атомов, то сможем измерить минимальное количество энергии в нейтрино, то есть энергию, необходимую, чтобы получить его массу согласно $E = mc^2$

Этот и последующие эксперименты позволят нам вычислить массу электронного нейтрино с точностью до 0,04 % массы электрона.

Подготовка эксперимента завершится в 2011 году, так что мы полагаем, что получим точный ответ — причем скорее рано, чем поздно.

IV. Чего мы не сможем узнать в ближайшем будущем?

Уже довольно давно ведутся разговоры о том, что будто бы не за горами «конец физики». Это была расхожая тема интеллектуальных бесед еще в начале XX века. Джеймс Клерк Максвелл на тот момент великолепно описал электричество и магнетизм, а все остальное, как полагали ученые, описывала ньютонова теория гравитации. Затем были открыты квантовая механика и теория относительности, и в результате мы оказались дальше прежнего от унификации физических представлений в аккуратную, простую и полную картину Вселенной. Мы еще не оправились после открытий начала XX века, а некоторые тайны квантового мира еще ждут разгадки, о чем мы, собственно, и писали в этой книге.

Мы хотим сказать, что еще очень и очень рано почивать на лаврах. Стандартная модель физики частиц описывает все до единой частицы и их взаимодействия — но для этого ей требуется четыре разные силы и около 20 свободных параметров. Стандартная модель космологии описывает историю Вселенной и даже предлагает вполне правдоподобную версию событий темного Средневековья до эпохи Комбинации. Но все эти успехи достигнуты с определенными оговорками. Мы подставляем в теоретические формулы некие числа — но понятия не имеем, откуда эти числа взялись. Мы не в состоянии убедительно увязать гравитацию с остальными силами, хотя и описали каждую из них по отдельности очень и очень хорошо. И во множестве случаев мы даже не знаем, что собой представляют эти параметры.

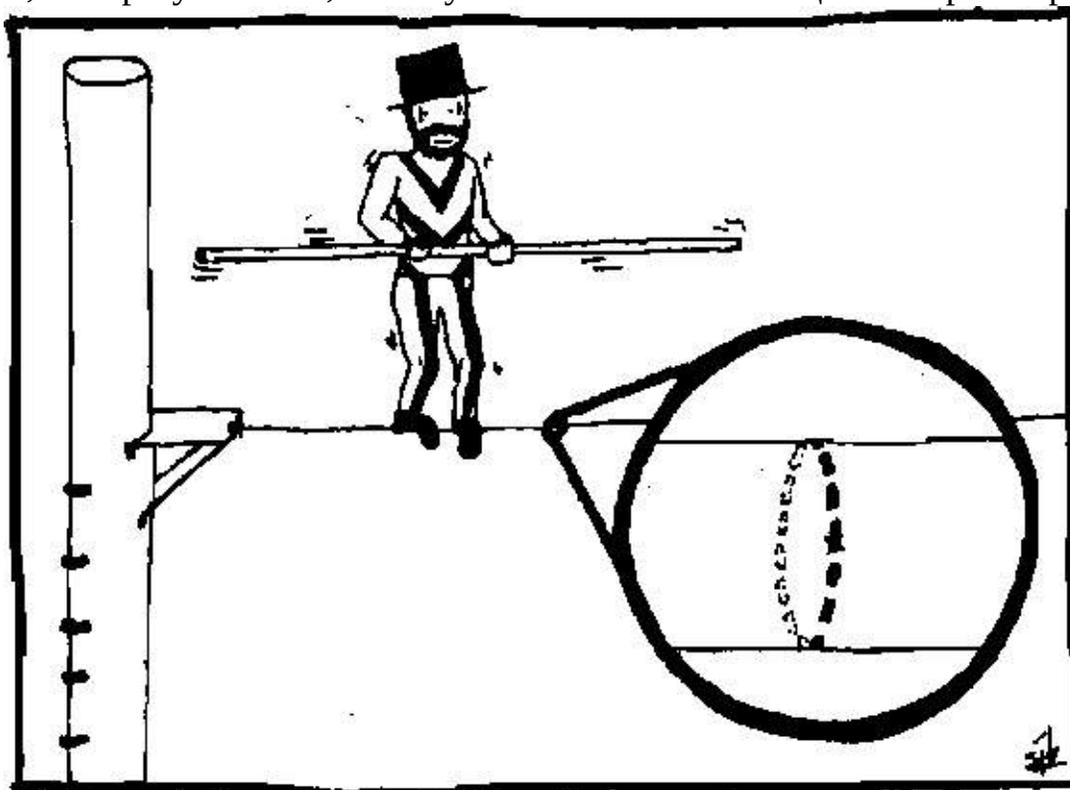
Есть и другие вопросы, которые нам бы очень хотелось прояснить, но по которым невозможно ни достичь согласия, ни даже надеяться на консенсус. Приведем наши любимые.

1. Верна ли теория струн, ошибочна или ни то ни другое?

Посмотрите вверх-вниз, вперед-назад, вправо-влево. По всей видимости, ничего другого пространство предложить не может. Разумеется, дополнительные измерения обладают теми же мерзкими особенностями,

что и зубная фея и пиратские клады: если вы их не видели, это не значит, что их не существует.

В этой книге мы пару раз упомянули о теории струн. Казалось бы, это чуть ли не панацея от всех болячек современной физики. Теория струн предполагает, что с фундаментальной точки зрения все частицы одинаковы — всего-навсего кусочки струн. Она претендует на роль Теории Всего, а значит, если она справедлива, то общая относительность и слабые, сильные и электромагнитные силы объединятся в единую теорию. Есть надежда, что естественным следствием некоторых моделей теории струн станет исчерпывающее объяснение, что такое темная материя и темная энергия, а значит, мы сразу поймем, почему Вселенная экспоненциально расширяется.



Однако за все надо платить. Теория струн в ее нынешнем виде предполагает, будто Вселенная имеет 10 измерений плюс время. Чтобы понять, что представляют собой дополнительные семь измерений, вообразите канатоходца под куполом цирка. Сторонний наблюдатель скажет, что движение канатоходца ограничено двумя направлениями — вперед и назад, и никаких других вариантов у него нет [\[151\]](#).

Зритель, который смотрит представление, вероятно, даже не разглядит, есть ли у каната толщина, — а если он совсем неотесанный провинциал, поверит, будто канат имеет бесконечно малую толщину и на самом деле

является одномерной структурой.

А вот у муравья, ползущего по канату, никаких подобных иллюзий нет. Он может ползти не только взад-вперед по веревке, но и вокруг каната — и это эквивалентно одному из скрытых измерений в теории струн. Некоторые измерения, вероятно все недостающие семь, весьма и весьма компактны. Вероятно, мы не замечаем этих компактных измерений, поскольку обречены плыть на трехмерной бране по Вселенной, где измерений больше.

Между тем маленькие измерения могут играть очень важную роль, поскольку главный режиссер этого спектакля — квантовая механика. Что будет, если вокруг одного из маленьких измерений обернется петля из струны? В главе 2 мы видели, что если поместить частицу в крошечную коробочку (или в крошечное измерение), частица приобретает уйму дополнительной энергии. В нормальной обстановке мы увидим выражение этой энергии — частица начнет метаться туда-сюда. Единственная сложность состоит в том, что метаться она не может. А следовательно, дополнительная энергия становится, согласно великому уравнению $E = mc^2$, массой частицы.

Веда в том, что нужная для этого энергия примерно в 10^{16} раз превышает энергии, которых мы способны добиться в БАК. Иначе говоря, эту теорию, по всей видимости, нельзя проверить экспериментально, так как еще очень и очень долго у нас не будет никакой технической возможности проделать такой эксперимент.

Что бы нам ни говорили, точность научной теории никогда не удастся доказать. Если мы говорим, будто теория «верна», значит, нам не удалось ее опровергнуть. Признак хорошей научной теории — то, что ее сторонники должны придумать эксперимент или несколько экспериментов, в ходе которых теория может оказаться ошибочной, но не оказывается. Концепцию «опровергаемости», ставшую основой современной науки, ввел философ Карл Поппер. Это и есть главный недостаток так называемой теории разумного замысла. Недостаточно просто провозгласить, будто ваша теория верна, даже если она объясняет все наблюдаемые на сегодня феномены. Домашнее задание: придумать тест, а в идеале — много тестов, которые ваша теория может не пройти, и если она их не пройдет, вам придется признать, что вы заблуждались. Теория разумного замысла этого не делает.

Как обстоят дела с этим у теории струн? Вспомним некоторые популярные книги, вышедшие в последние годы, с названиями вроде

«Даже не ошибка» (Питер Войт) или «Упрямая физика»^[152].

Главная мысль обеих этих книг — что теорию струн можно привести в соответствие со стандартной моделью, причем нельзя поставить эксперимент, который бы ее опроверг. Отчасти сложность состоит в том, что единой версии теории струн не существует. Количество теорий струн на сегодняшний день колоссально — Смолин насчитывает 10 500, число настолько нелепое по размаху, что даже Знак, герой «Улицы Сезам», подумал бы о смене карьеры.

Похоже, что под теорию струн со всеми ее вариантами вполне можно подогнать любые искажения физических законов. А мы надеялись на нечто прямо противоположное. В идеале мы хотели получить фундаментальный физический закон, который не только опишет все существующие законы физики, но и не потребует для этого никакой подгонки теории.

В результате нет никакого определенного представления о том, что такое теория струн, а следовательно — как ее проверить. Как пишет Смолин: «На сегодня нет никакой реальной возможности проделать эксперимент, который определенно подтвердил бы или опроверг какое бы то ни было конкретное предположение этой теории». Мы готовы сделать крупную ставку на то, что в обозримом будущем не будет проделан никакой опыт по исследованию количества измерений во Вселенной, так что даже если мы живем не в трехмерном мире, надо вести себя так, словно измерений именно три.

2. Что такое темная энергия?

Наблюдения показывают, что во Вселенной, похоже, существует невидимая, однако вездесущая темная энергия, которая подталкивает Вселенную к экспоненциальному расширению. Стандартная модель даже выдвигает кандидата, обладающего всеми качествами темной энергии. Это так называемая энергия вакуума, и, как мы видели, главная сложность состоит в том, что наша теория предполагает, будто ее примерно в 10^{100} раз больше, чем показывают наблюдения. Мы бы еще пережили, если бы темная энергия равнялась нулю — это как-то «естественно». Но такое масштабное расхождение как-то нервирует. Одна из самых крупных проблем — то, что теории струн и квантовой гравитации нужно очень уж

видоизменять, чтобы подогнать под ту плотность темной энергии, которую мы видим. По нашим представлениям, Теорию Всего можно было бы считать хорошей, если бы плотность темной энергии следовала из нее сама собой, и это одна из первых проверок, которым следует подвергать подобные теории.

3. А чем нам не нравятся свободные параметры?

Пытаясь описать основные принципы, управляющие физикой, мы ловко обошли тот факт, что существует множество чисел, которые приходится просто вписывать от руки. Самые естественные числа — это те, которые представляют собой простое сочетание физических констант, а значит, мы были бы вправе предположить, будто все элементарные частицы обладают планковской массой — если бы у нас не было других данных. Нет, масса у них не планковская — поэтому мы вправе спросить, почему электрон настолько легче планковской массы, а нейтрино настолько легче электрона. Мы не знаем, откуда у электрона берется именно такой заряд, и пока что не знаем, почему сильное взаимодействие обладает именно такой силой.

В стандартную модель кроме этих коэффициентов входит еще уйма параметров, а в теории струи — еще больше. Например, мы упомянули о том, что различные нейтрино превращаются друг в друга и что существует некоторое численное соотношение, которое показывает вероятность этого перехода. Откуда берутся эти числа? Неизвестно. В целом в стандартную модель входит больше 20 свободных параметров — и это только стандартная модель. Среди них есть числа, которые с точки зрения всех наших фундаментальных теорий могут объясняться чем угодно.

Остается надежда, что Теория Всего, когда она наконец будет сформулирована, теоретически объяснит все свободные параметры. Но так ли это? В главе 8 мы говорили об условиях, которые должны были создаться на ранних стадиях существования Вселенной, чтобы зародилась разумную жизнь. Не исключено, что в разных вселенных и параметры разные, а в таком случае мы никогда не выявим «глубинную» причину, по которой фундаментальные параметры имеют именно те, а не иные значения. Лично нас это крайне огорчает, и мы надеемся, что до этого дело не дойдет.

Разумеется, мы можем заблуждаться.

Этот перечень никоим образом нельзя считать исчерпывающим. Самое прекрасное в физике — то, что всегда найдется новая задача, которая потребует немедленного внимания, сколько бы задач вы ни решили. Чем больше ответов на вопросы вы найдете, тем интереснее будет для вас следующий вопрос.

Ко всему прочему, Вселенная не статична. Ее жизнь устроена очень просто. Все меняется — постоянно, но (как правило) предсказуемо. А мы по традиции подсматриваем через дырочки в заборе и пытаемся сложить цельную картину из всего, что увидели.

Говорят, что нет ничего на свете невозможного, стоит только захотеть. Те, кто это говорит, — сборище идиотов. Мы со всем уважением относимся к ведущим тренингов по мотивации, но все же есть тонкое различие между тем, что кажется невозможным, и тем, что и вправду невозможно, — как есть тонкое различие между ужасно большим и бесконечным, хотя это не всегда удается понять. Например, нам очень-очень трудно двигаться со скоростью 99,99999 % скорости света, но технически это достижимо. А вот двигаться со скоростью 100,00001 % скорости света абсолютно невозможно, хотя это всего-навсего на 210 километров в час быстрее. Это не просто сложно, не просто интересная и трудная задача — это *невозможно*, что бы вы ни придумывали, как бы ни пыжились и как бы ни давили на газ. Поскольку в этой книге мы поговорили о многом, то хотели бы дать вам наглядную сводную таблицу невозможных вещей на тот случай, если вас втянут в занудный спор с каким-нибудь сторонником псевдонауки.

Шесть невозможных физических открытий (и шесть крайне маловероятных в придачу)

Якобы невозможно, а на самом деле возможно:

- создать машину времени (вероятно);
- что Вселенная расширяется быстрее скорости света;
- быть в двух местах одновременно;

- что Вселенная обладает более чем тремя пространственными измерениями;

- параллельные вселенные и мультивселенная;

- что Вселенная циклична;

В принципе невозможно:

- при помощи машины времени изменить ход истории или вернуться в прошлое до того момента, как вы создали свою машину времени;

- перегнать луч света — даже в расширяющейся Вселенной;

- точно засечь, где находится электрон;

- путешествовать в другие измерения — вы уже «находитесь» во всех измерениях во Вселенной;

- посетить другую вселенную;

- сказать чтобы то ни было о времени до Большого взрыва-это такие же глупости, как говорить о направлении на юг, стоя на Южном полюсе.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Мы знаем, что, как мы ни старались, все равно мы не единственная лавочка в городе, где дают научно-популярные книжки. Перечислим те книги, которые нам особенно помогли в создании «Руководства».

Abbot, Edwin A. Flatland: A Romance of Many Dimensions. London, 1884.

Это классическая история о том, как двумерное или одномерное существо представляет себе жизнь в более высоких измерениях.

Adams, Douglas. Hitchhiker's Guide to the Galaxy. New York: Harmony Books, 1979.

(Адамс, Дуглас. Автостопом по галактике.)

Bryson, Bill. A Short History of Nearly Everything. New York: Broadway Books, 2003.

Брайсон пишет с основным о классической физике, но все равно это великолепный обзор некоторых увлекательных историй, которые стоят за наукой. Мы щедро и беззастенчиво пользуемся в своих лекциях его анекдотами.

Davies, Paul. How to Build a Time Machine. New York: Viking, 2002.

Gamow, George. The Great Physicists from Galileo to Einstein. New York: Dover Publications Inc., 1988.

Gott, J. Richard III. Time Travel in Einstein's Universe. New York: Houghton Mifflin, 2001.

Это обязательное чтение для каждого, кто хочет как следует разобраться в тонкостях устройства машины времени. В главе 5 мы описали машину времени Готта, основанную на космических струнах.

Greene, Brian. The Fabric of the Cosmos. New York: Alfred A. Knopf, 2004.

Прелестный обзор современной космологии с опорой на теорию струн.

Gribbin, John. In search of Schrödinger's Cat: Quantum Physics and Reality. New York: Bantam, 1984.

A Little Bit of Knowledge. This American Life. WBEC Chicago. July 22, 2005.

Mlodinow, Leonard. The Drunkard's Walk: How Randomness Rules our Lives. New York: Pantheon, 2008.

Paulos, J. A. Innumeracy: mathematical illiteracy and its Consequences. New York: Hill and Wang, 2001.

Rees, Martin. Before the Beginning. New York: Perseus Books, 1998.

Эта книга не просто великолепно рассказывает о параллельных вселенных (глава 2), мультивселенной (глава 7) и начале времен, но и прекрасно описывает различные интерпретации квантовой механики.

Rothman, Tony. Everything's Relative and Other Fables in Science and Technology. New Jersey: Wiley, 2003.

Sagan, Carl. Contact. New York: Simon amp; Shuster, 1985.

Smolin, Lee. The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of Science, and What Comes Next. New York: Mariner Books, 2007.

Смолин — специалист по теории струн, так что его книга содержит и ликбез, и едкую критику.

Stevenson, Robert Louis. The Strange Case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde. London: Penguin, 2002.

(*Стивенсон, Роберт Льюис.* Странная история доктора Джекила и мистера Хайда.)

Thorne, Kip S. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. New York: Norton, 1993.

Tyson, Neil deGrasse. Death by Black Hole: And Other Cosmic Quandaries. New York: Norton, 2007.

Vilenkin, Alex. Many Worlds in One. New York: Hill amp; Wang, 2007.

Интересный подход к эволюции космоса, в том числе отличное описание модели происхождения Вселенной, которую выдвинул сам Виленкин.

Weinberg, Steven. The first three minutes: A Modern View of the Origin of the Universe. New York: Basic Books, 1977.

Классическое представление о Большом взрыве. Хотя за последние тридцать с лишним лет наши знания в этой области расширились, описание Вайнберга остается точным и убедительным.

Woit, Peter. Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law. New York: Basic Books, 2007.

Название книги говорит само за себя, к тому же Войт ведет «Живой журнал» по тем же вопросам.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

В раздел «Специальная литература» мы включили работы, которые порадуют разве что специалиста (или мазохиста).

Глава 1

Galileo. Dialogue Concerning Two New Sciences. Trans. Henry Crew and A. de Salvio. New York: Dover Publications Inc., 1968.

«Диалоги» Галилея — основополагающая работа, где среди прочего говорится о том, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. Кроме того, эта книга стала основой «принципа относительности Галилея», согласно которому не существует опыта, который показал бы различие между неподвижностью и движением с постоянной скоростью.

Einstein, Albert. On the Electrodynamics of Moving Bodies. Annalen Der Physik 17 (June 30, 1905): 891–921.

Классическая работа, в которой Эйнштейн выдвигает специальную теорию относительности.

Barrett, M. D., Chiaverini, J., Schaetz, T., Britton, J., Itano, W. M., Jost, J.D., et al. Deterministic Quantum Teleportation of Atomic Qubits. Nature 429 (2004): 737.

Одна из первых телепортаций отдельных атомов.

Bohrn, David. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of «Hidden» Variables, I and II. Physical Review 85 (1952): 166–193.

Bouwmeester, D., Pan, J.-W., Mattle, K., Eibl, M., Weinfurter, H. and Zeilinger, A. Experimental Quantum Teleportation. Nature 390 (1995): 575–579.
Первая телепортация фотона.

Crisp, M. D., Jaynes, E. T. Radiative Effects in Semiclassical Theory. Physical Review 179 (1969): 1253.

Одна из нескольких работ, в которых показано, что знаменитый фотоэффект Эйнштейна не доказывает, что свет состоит из частиц-фотонов.

Einstein, Albert. On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light. *Annalen der Physik* 17 (1905): 132–148.

Статья Эйнштейна, в которой доказывается, что свет ведет себя как частицы (интересное дополнение к ней см. выше в статье **Crisp, Jaynes**). Нобелевскую премию в 1921 году Эйнштейн получил именно за эту работу, а не за теорию относительности.

Everett, Hugh. «Relative state» formulation of quantum mechanics. *Review of Modern Physics* 29 (1957): 454–462.

В этой работе Эверетт описывает интерпретацию квантовой механики посредством «множественных миров». Мы возвращаемся к ней в главе 5.

Feynman, Richard P. The Space-Time Formulation of Nonrelativistic Quantum Mechanics. *Review of Modern Physics* 20 (1948): 367–387.

Фейнман описывает модель квантовой механики как «интеграл по траектории» — согласно этой модели, частица избирает сразу все возможные траектории.

Goldstein, Sheldon. Bohmian Mechanics. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2008 Edition), Edward N. Zalta (ed.). <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/qm-bohm/>

Heisenberg, Werner. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik* 43 (1927): 172–198.

Это было первое описание «принципа неопределенности» Гейзенберга.

Huygens, Christiaan. *Treatise on Light*, Trans. Silvanus Thompson. Chicago: University of Chicago Press, 1678.

Riebe, M., Haffner, H., Roos, C. F., Hansel, W., Ruth, M., Benhelm, J., et al. Deterministic Quantum Teleportation with Atoms. *Nature* 429 (2004): 734–737.

Первая экспериментальная телепортация отдельных атомов.

Schrödinger, Erwin. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik.

Naturwissenschaften November, 1935.

В своем коротком сообщении Шредингер рассказывает о знаменитом мысленном эксперименте с котом.

Tomomura, A. Endo, J. Matsuda, T., Kawasaki, T., Eha-wa, H. Demonstration of single electron buildup of an interference pattern. American Journal of Physics, 57 (1995): 117.

Опыт с двумя щелями, проведенный с участием отдельных электронов.

Vaidman, Lev. Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2008 Edition), Edward N. Zalta (ed.). <http://plato.stan-ford.edu/archives/fall2008/entries/qm-manyworlds/>

Zee, A. Quantum Theory in a Nutshell. Princeton: Princeton University Press, 2003.

Отменное техническое введение в квантовую теорию поля для физиков.

Глава 3

Aspect, Alain, Grangier, Philippe, Roger, Gerard. Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Ge-dankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities. Phys. Rev. Lett. 49 (1982); 91,

Эспект и его коллеги убедительно доказывают, что эйнштейновская интерпретация квантовой механики была ошибочной. На квантовом уровне Вселенная по-настоящему случайна.

Bell, J. S. On the problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. Review of jtfodern Physics. 38 (1966): 447.

Белл выводит свои неравенства.

Bennett, C. H., Brassard, G., Сзереау, С., Jozsa, K, Peres, A., Wootters, W. Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and EPR Channels. Phys. Rev. Lett. 70 (1993): 1895–99.

Теоретическое обоснование того, как на практике создать устройство для телепортации.

Greenstein, G. The Quantum Challenge: Modern Research on the Foundations of Quantum Mechanics, 2nd ed. New York: Jones and Bartlett, 2005.

Отличный учебник для студентов старших курсов, где говорится о многих важных вопросах и экспериментах в современной квантовой механике.

Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N. Can a quantum mechanical description of physical reality be considered complete? Phys. Rev. 47 (1935): 777.

В этой статье рассказывается о знаменитом ЭПР-парадоксе.

Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., et al. 2007: Historical Overview of Climate Change // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor M., Miller H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Глава 4

Blaizot, J. P., Iliopoulos, J., Madsen, J., Ross, G. G., Sonderegger, P., Specht, H. J. Study of Potentially Dangerous Events During Heavy-Ion Collisions at the LHC. CERN. Geneva. CERN-2003-001.

Ellis, John, Giudice, Gian. Mangano, Michelangelo, Tkachev, Igor, WUdetmann, Urs. Review of the Safety of LHC Collisions. Cern Technical Document: CERN-PH/TH/ 2008–136, 2008.

Самый свежий внутренний обзор, посвященный вероятности того, что БАК способен создавать черные дыры, струпельки или что похуже.

Nostradamus, Michel. Traite des fardemens et des confitures (1555,1556,1557),

Overbye, Dennis. Asking a Judge to Save the world, and Maybe a Whole Lot More. New York Times, March 29, 2008.

Один из множества примеров стараний общественности остановить запуск БАК, так как он чреват опасностями для всего мира. [http://www.thepetit\(onsite.com/1/the-LHC](http://www.thepetit(onsite.com/1/the-LHC)

Rutherford, E. The scattering of alpha and beta Particles by Matter and the Structure of the Atom. Philos. Mag. 6 (1911): 21.

Резерфорд открывает атомное ядро.

Глава 5

Einstein, Albert. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Annalen der Physik 1916: 49.

Первая статья об общей теории относительности.

Feynman, Richard P., Leighton, Robert B., Sands, Matthew. The Feynman Lectures in Physics. New York: Addison Wesley, 1971.

В 1962 году Ричард Фейнман разработал курс лекций по общей физике для первокурсников Калифорнийского технологического института. В некотором смысле фейнмановские лекции были направлены не на ту аудиторию — они значительно опережали возможности студентов, для которых были предназначены. Однако на лекции ходили студенты-старшекурсники, вольнослушатели и преподаватели, и опубликованные впоследствии записи этих лекций входят в число самых увлекательных книг для любого физика, который хорошо знает математику, но при этом хочет глубже почувствовать именно физическую сторону дела^[153].

Ghez, A. M. et al. The First Measurement of Spectral Lines in a Short-Period Star Bound to the Galaxy's Central Black Hole: A Paradox of Youth. *Astrophysical Journal* 586 (2003): L127-L131.

Одна из первых статей, где определенно говорится о том, что в центре нашей Галактики находится черная дыра.

Ghez, A. M., et al. Stellar Orbits Around the Galactic Center Black Hole. *The Astrophysical Journal* 625 (2005): L51.

Gott, J. Richard III, Freedman, D. A Black Hole Life Preserver, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0308325> (2003). В этой работе Готт и Фридман показывают, что между тем, как почувствуешь легкое недомогание, и тем, как тяготение черной дыры разорвет тебя в клочки, пройдет примерно 0,2 секунды.

Gott, J. Richard III. Closed timelike curves produced by pairs of moving cosmic strings: Exact Solutions. *Physical Review Letters* 66 (1991): 1126–29.

Это техническая статья, где описывается «машина времени Готта». Если вам не нравится, что статья перегружена уравнениями и формулами, загляните в *Time Travel in Einstein's Universe* (см. дополнительную литературу).

Hawking, S. W. Black hole explosions? *Nature* 248 (1974): 30.

Hawking, S. W. Chronology protection conjecture. *Phys. Rev. D.* 46 (1992): 603.

Хокинг утверждает, что законы физики не допускают возникновения «замкнутых времениподобных кривых», то есть машин времени. Пэтт и Ли (см. главу о Большом взрыве) показали, что на самом деле общая теория относительности допускает такое решение.

Matson, John. Fermilab Provides More Constraints on the Elusive Higgs Boson. *Scientific American*. March 13, 2009.

Morris, M. S., Thorne, K. S., Yurtsever, U. Wormholes, time machines, and the weak energy condition. *Phys. Rev. Letters* 61 (1988): 1446.

Моррис и его сотрудники разработали модель машины времени на основе кротовых нор. Торн описывает это в популярном виде в своей книге *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (см. дополнительную литературу).

Novikov, I. D. Time machine and self-consistent evolution in problems with self-interaction. *Phys. Rev. D* 45 (1992): 1989–94.

Это не первая формулировка «теоремы Новикова», однако в этой статье он разбирает много примеров того, как машины времени подтверждают единую историю Вселенной.

Pound, R. V., Rebka Jr. G. A. Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance. *Physical Review Letters* 3 (1959): 439–441.

Проверка общей теории относительности с поверхности Земли.

Sckodel, R. et al. A star in a 15,2-year orbit around the supermassive black hole at the centre of the Milky Way. *Nature* 419 (2002): 694–96.

Одна из первых гипотез о том, что в центре Галактики находится черная дыра.

Глава 6

Akerib, D. S., et al. Exclusion Limits on the WIMP-Nucleon Cross-Section from the First Run of the Cryogenic Dark Matter Search in the Soudan Underground Lab. *Phys. Rev. D* 72 (2005): 052009.

Asztalo, S., et al. Large-scale microwave cavity search for dark-matter axions. *Nucl. Instr. Meth. A* 444 (1999): 569.

Описание эксперимента по поиску аксионной темной материи (***Axion Dark Matter Experiment, ADMX***).

Bondi, Hermann. *Cosmology*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 13. 1952.

Считается, что это первое упоминание о «космологическом принципе».

Bradač, Maruša, et al. Strong and Weak Lensing United. III. Measuring the Mass Distribution of the Merging Galaxy Cluster 1ES 0657-558. *Astrophysical Journal* 652 (2006): 937-47.

Брадач и ее коллеги проделали анализ наблюдений так называемого скопления «Пуля» на основе гравитационных линз. В этой статье они обнаруживают гигантские скопления материи, которые пространственно не связаны с наблюдаемым барионным веществом. Многие, в том числе и мы, считают это первым «прямым» наблюдением темной материи.

Casimir, H.G.B. On the attraction between two perfectly conducting plates. *Proc. Kon. Nederland. Akad. Wetensch.* B51 (1948): 793.

Copernicus, Nicolaus. *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*. Trans. Abbot Newton. New York: Barnes and Noble. 1976.

Коперник предположил, что Земля вращается вокруг Солнца, впоследствии это доказал Галилей, а затем окончательно сформулировал Ньютон. На сегодняшний день «принцип Коперника» в широком смысле слова гласит, что Земля (и человечество) не занимают во Вселенной центрального места.

Cornish, Neil, Spergel, David, Starkman, Glenn. Circles in the Sky: Finding Topology with the Microwave Background Radiation. *Classical Quantum Gravity* 15 (1998): 2657–2670.

В этой работе рассматривается возможность того, что Вселенная — всего лишь бесконечная пространственная петля, нечто вроде тора. Группе исследователей, искав «круги в небесах» и не обнаружив их, доказала, что если Вселенная имеет форму тора, то лишь в масштабах гораздо больше нынешнего горизонта.

Hinshaw, Gary, et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results. *Astrophysical Journal Supplement* 180 (2009): 225–245.

Спутник WMAP исследует «фоновое излучение» Вселенной и таким образом дает нам картину того, какой была Вселенная на очень ранних стадиях развития. Эти наблюдения с поразительной точностью соответствуют нынешней космологической модели. В работе рассказывается о самых последних данных, полученных в этом эксперименте.

Lense, J. Thirring, H. Uber den Einfluss der Eigenrotation der Zentralkorper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift* 19(1918): 156-63.

Общая теория относительности предсказала «эффект Лензе-Тирринга», а спутник **Gravity Probe B** провел соответствующие наблюдения. В целом утверждается, что массивное вращающееся тело тащит за собой пространство.

Mach, Ernst. The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of It's Development. LaSalle, 111.: Open. Court Pub. Co., 1960.

Perlmutter, Saul. Turner, Michael S., White, Martin. Constraining dark energy with SNe Ia and large-scale structure. *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999): 670.

Одно из первых прямых наблюдений ускорения Вселенной, а

следовательно, доказательство того, что Вселенная наполнена темной энергией.

Rainse, D. J. Mach's Principle \square General Relativity. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 171 (1975): 507.

Rieaa, Adam. G., et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. Astronomical Journal 116 (1998): Строго говоря, группа Риса опередила группу Перлмуттера (см. выше) и первой опубликовала свои наблюдения расширяющейся Вселенной.

Rubin, Vera. Ford, W. Kent, Jr. Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. Astrophysical Journal 159 (1970): 379.

Это первые данные о наличии темной материи в галактиках на основе скорости их вращения.

Rutherford, Ernest. Bakerian Lecture: Nuclear Constitution of Atoms. Proc. Roy. Soc. A, 97 (1920): 574.

Одно из первых обсуждений зарождающейся идеи суперсимметрии.

Schmidt, Brian, et al. The High-Z Supernova Search: Measuring Coemic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type Ia Supernovae. Astrophys. J. 507 (1998): 46.

Еще одна оценка темной энергии на основе взрывов сверхновых.

Shapley, Harlow. Globular Clusters and Structure of the Galactic System. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 30 (1918): 42.

Шапли показал, что наше Солнце не центр Галактики.

Tytler, David, Fan Xiao-Ming, Buries, Scott. Cosmological baryon density derived from the deuterium abundance at redshift $z = 3,57$. Nature. 381 (1998): 207.

Тайтлер и его коллеги измерили количество дейтерия, а это, в свою очередь, дало возможность оценить плотность барионной (то есть обычной) материи во Вселенной.

Gott, J. R., Li, L-X. Can the Universe Create Itself? *Phys. Rev. D.* 58 (1998): 3501.

Модель, согласно которой Большой взрыв можно свести к повторяющейся временной петле.

Guth, A. H. The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems. *Phys. Rev. D* 23 (1980): 347.

Первая статья Гуса об инфляционной картине ранней Вселенной.

Hinshaw, Gary, et al. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results. *Astrophysical Journal Supplement* 180(2009): 225–245.

Спутник WMAP сделал карту горячих и холодных участков Вселенной, показанную в главе 7.

Kaluza, Theodor. Zum Unitatsproblem in der Physik. *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin.* 1921: 966–972.

Одна из нескольких (независимых) формулировок теории Калузи — Клейна. Основная мысль состоит в том, что законы электромагнетизма можно сформулировать как свойства миниатюрного четвертого измерения.

Klein, Oskar. Quantentheorie und funfdimenaionale Relativitätstheorie. *Zeitschrift für Physik* 37:12 (1926): 895–906.

Это Клейн из теории Калузи — Клейна.

Peacock, John A. *Cosmological Physics.* Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

Очень хороший, хотя и технический, обзор космологии на уровне выпускника университета.

Penzias, A. A., Wilson, R.-W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysiccat Journal* 142 (1965): 419–421.

Пенаиас и Уилсон получили Нобелевскую премию за наблюдение окружающего нас крайне низкотемпературного излучения — реликта ранней Вселенной.

Steinhardt, Paul J., Turoh, Neil. The Cyclic Model Simplified, *NewAR* 49 (2005): Упрощенная циклическая модель упрощена в том смысле, что ее в состоянии понять обычный физик (не специалист по теории струн). Циклическая вселенная означает, что наша Вселенная — не первая и, в принципе, и не последняя.

Vilenkin, Alexander Creation of universes from nothing. *Physics Letters B* 117 (1982): 25. *В* Виленкин описывает, как квантовая механика может сформировать Вселенную из случайной флуктуации.

Глава 8

Beaulieu, J.-P., et al. Discovery of a Cool Planet of 5,5 Earth Masses Through Gravitational Microlensing. *Nature* 365 (2006): 623.

Это случайное наблюдение звезды, при котором был зафиксирован вторичный сигнал. Этот сигнал оказался планетой с массой примерно в 5,5 раза больше массы Земли — на сегодняшний день это самая легкая планета, обнаруженная вне нашей Солнечной системы.

Carter, B. Anthropic Principle in Cosmology // Current issues, in cosmology / Eds. Jean-Claude Pecker and Jayant Narlikar. Cambridge, 2006.

Gott, J. R. Implications of the Copernican Principle for our future prospects. *Nature* 363 (1993): 315.

Готт при помощи довольно простых вероятностных допущений прогнозирует долговечность самых разных вещей — от человечества до бродвейских постановок.

Kalas. Paul, Graham, James R., Chiang, Eugene, Fitzgerald, Michael P., Clampin, Mark, Kite, Edwin S., Stapelfeldt, Karl, Marois, Christian, Krist, John. Optical Images of an Exosolar Planet 25 Light Years from Earth. *Science* November 13, 2008.

Одно из первых прямых оптических наблюдений планеты вне Солнечной системы (а не колебаний ее звезды).

Koch, David, Gould, Alan. Kepler Mission.

<http://kepler.nasa.gov/index.html>

Marois, C. Macintosh, B. Barman, T. Zuckerman, B., Song, I., Patience, J., Lafrenier, D., Doyon, Л. Direct Imaging of Multiple Planet» Orbiting the Star HR 8799. Science Express November 13, 2008.

Schneider, Jean. The Exoplanet Encyclopedia, <http://exoplanet.eu>
На сегодняшний день это самый полный перечень всех планет, обнаруженных вне Солнечной системы, с описанием обстоятельств их открытия.

Tegmark, Max, Is 'the theory of everything' merely the ultimate ensemble theory? Annals of Physics 270 (1997).

Bahcall, John N. The Solar-Neutrino Problem. Scientific American 262, (1990): 54–61.

Bekenstein, J. D. Revised gravitation theory for the modified Newtonian dynamics paradigm. Phys. Rev. D 70 (2004): 083509.

Бекенштейн разработал модель гравитации под названием «Модифицированная ньютонова динамика» (*Modified Newtonian Dynamics, MONO*) — она соответствует теории относительности и идеально соответствует всем наблюдениям, не требуя ни темной материи, ни темной энергии. Эта теория известна как «теория тензора-вектора-скаляра», и именно о ней обычно говорят, когда упоминают о *MOND*. Вердикт пока не вынесен, но, по нашим представлениям, традиционная общая теория относительности, темная материя и темная энергия куда как лучше.

Bertone, Gianfranco, Hooper, Dan, Silk, Joseph. Particle Dark Matter: Evidence, Candidates and Constraints. Phys. Rept. 405 (2005): 279–390.

Committee on the Physics of the Universe, National Research Council. Connecting Quarks with the Cosmos: Eleven Science Questions for the New Century. National Academies Press, 2003.

Не только у нас накопилась куча вопросов о космологии.

David, R., J z. The Search for Solar Neutrinos. Umschau 5 (1969): 153.

Дэвис несколько десятилетий руководил нейтринной обсерваторией Хоумстейк, где впервые засекли нейтрино с Солнца, и, следовательно, понял (вместе с Джоном Бакаллом, см. выше), что нейтрино не хватает.

Distler, Jacques. Grinstein, Benhamin, Porto. Rafael A., Rothstein, Ira, Z.

Falsifying Models of New Physics via WW Scattering. Physical Review Letters (2007): 041601.

Одна из многих попыток подтвердить или опровергнуть теорию струн при помощи экспериментов вроде БАК. Мы относимся к этому с долей скептицизма, поскольку энергии в БАК несравнимо ниже, чем те, при которых начинает играть свою роль теория струн.

Hewett, JaAnne L., Lillie, Ben, Rizzo. Thomas G. Black Holes in many dimensions at the LHC: testing critical string theory. Phys.Rev.Lett. **95 (2005): 261603.**

Как и статья Дистлера, очередная попытка опровергнуть теорию струн при низких температурах.

KATRIN collaboration. KATRIN Project Homepage, <http://www.wik.fzk.de/~katrin/index.html>

Popper, Karl. The Logic of Scientific Discovery, New York: Basic Books, 1959.

Вероятно, определяющая работа по современной интерпретации научного метода.

Xenon **100** Collaboration. Xenon **100** experiment webpage. <http://XBnon.physics.rice.edu/xenon100.html>

notes

Примечания

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.

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.

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

4

Заодно и дадим очередного пинка.

По крайней мере так гораздо проще для тех ученых, которые знают, что такое сверхтонкий переход. Вам этого знать не надо, на контрольной этого не будет.

6

По крайней мере в ближайшие 180 секунд.

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

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

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

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

11

Поняли, в чем соль?

12

ЧЕГО?!

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

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.

15

Не трогайте эту кнопку! (фр.)

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

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

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

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

20

Примерно как прыщ перед выпускным балом.

Если вы янки, он известен вам как офицер полиции.

Еще как понимают.

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

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

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

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

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.

Воистину этот человек — настоящее чудовище.

Если речь идет о Хайде — то врагу.

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

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

Как именно, мы расскажем в следующей главе.

Фанфары!

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

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

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

Надеемся, что вы, главный солипсист, это учтете.

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

Роскошный сюжет для комикса. Рекомендуем.

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.

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.*

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

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

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

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

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

Хотя чего она от него хочет — это еще вопрос. Нам это известно не *лучше* вашего.

Глупости. Герман с 15 лет живет на чердаке.

Если вы понимаете сакральный смысл набора из трех игральных кубиков, значит, вам можно повышать очки за харизму.

Даже когда там торчит тетя Мейвис, которая постоянно жалуется на бурсит и кашляет в тесто для пудинга.

Тот изотоп урана, который кладут в бомбы и реакторы, называется уран-235, но уран-238 — тоже порядочная гадость.

Примерно как карьера М.-К. Хаммера, который только что был рэпером, а глядь — уже проповедник.

К тому же это железный способ нокаутировать друзей своей научной эрудицией.

Напомним, что Бор — автор копенгагенской интерпретации.

В следующей главе мы подробно поговорим об антиматерии. Пока что считайте слово «позитрон» удобным условным обозначением.

Это не преувеличение — ничто не способно двигаться быстрее света, зато можно бесконечно к ней приближаться.

Например, телевидение подвалило многое узнать о пороге чувствительности у человека — для этого достаточно было пускать некоторые сериалы по четыре сезона кряду.

И от романтических свиданий — по сходным причинам.

Постарайтесь-постарайтесь, мы уверены: у вас получится.

То есть вся материя, которую можно увидеть и потрогать. Относительно темной материи ничего нельзя утверждать с уверенностью.

Да-да, мы знаем, что Демокрит с Левкиппом еще в V веке до нашей эры додумались до идеи «атомов» как неделимых частичек, самых мелких предметов во Вселенной, но всякое сходства их атомов с нашими следует считать случайным совпадением.

В те дни названия частиц звучали куда фантастичней нынешнего. Поскольку тогда мы не представляли себе, из чего состоит материя, то придумывали названия вроде «альфа-частиц», «бета-частиц» и «гамма-лучей». Впоследствии их заменили «ядрами гелия», «электронами» и «высокоэнергичными фотонами». Да, здорово жилось в старые времена! Вот почему в наши дни так популярен стиль стимпанк.

Шутим, шутим. Один из нас (Голдберг) постоянно участвовал в математических олимпиадах, так что он тоже спортсмен, а у спортсменов особое чувство юмора.

Строго говоря, за время, которое уходит у вас на это самое мгновение ока, полноценную насыщенную жизнь проживают, примерно сто миллионов пионов.

Возможно, отличает. Мы вернемся к атому в главе 9.

«Фантастическая четверка» черпает свою сверхчеловеческую силу в космических лучах, а значит, этот пример вдвойне уместен.

67

$u + u + d = \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$. Складываем заряды кварков и получаем заряд протона. Круто, правда?

Вычисления сделайте сами.

А иногда, очень редко: «Как ты думаешь, я привлекательный?» На что следует печальный вселенский ответ: «НЕТ!»

W-бозоны бывают двух разновидностей. Так набирается три.

Фаза — это что-то вроде кадровой синхронизации на старом телевизоре. Картинку все равно можно различить, даже если она чуть повернута.

Если уж они ленятся, так ленятся, и с дивана их не поднять.

В чем вы убедились (или не убедились), прочитав главу 2.

Если вас интересуют такого рода сценарии, рекомендуем вам «Колыбель для кошки» Курта Воннегута и горсточку валиума.

Миссис Этель Кранцтон (81 год), няня из города Белдинга в штате Мичиган, независимо разработала теорию струн, чтобы объяснить безобразные узлы, образующиеся с изнанки ее вышивок. Рукодельницы всего мира с восторгом приняли идею миссис Кранцтон, однако ученые отвергли ее как «путаную и неряшливую».

Эх вы, желторотые! «Пакман» — это такая обалденная видеоигра 1980-х годов, в которой желтый круг с пастью пожирал маленькие белые кружочки. Если он исчезал в туннеле в левой стороне экрана, то появлялся справа. Еще там были привидения.

По крайней мере один из авторов долгое время был убежден, что Дик Кларк, ведущий телемарафонов в новогоднюю ночь, — на самом деле вечный двигатель.

Это настолько базовый принцип, что теперь его считают первым законом термодинамики.

Работники Отдела транспортных средств при администрации нашего штата преданы своим клиентам, и мы не будем пользоваться этой возможностью, чтобы их вышучивать.

Побежали мурашки? Значит, все идет как надо.

С очаровательными ошибками — «МОШИНА ВРЕМИНИ».

Сейчас, когда мы пишем эту книгу, с момента высадки человека на Луну прошло около 40 лет, но числа легко меняются.

Не понимаем, откуда у физиков эта навязчивая идея убить дедулю, но кто мы такие, чтобы возражать?

Не путать с одноименным триллером о путешествии во времени!

Да, мы понимаем, что это жалкие отговорки. Если вы всерьез полагали, что мы закроем вопрос о свободе воли и детерминизме, значит, ждали слишком много от книжки, купленной за такие смешные деньги.

К счастью, существенные подробности в мультфильме сглажены.

Первый фильм про Терминатора — эталон фантастического фильма про путешествия во времени. Продолжения уже не так хороши.

Ныне занимающего пост губернатора Калифорнии.

Не волнуйтесь, у них уже есть постоянное место работы.

В которых, однако, почти никогда нет забавных картинок.

Если не помните, не пожалейте времени на то, чтобы посмотреть этот фильм. Бытует едва ли не единодушное мнение, что это лучший американский фильм всех времен.

Скоро вы поймете, что это слово «кажется» играет в нашей комедии едва ли не главную роль.

Впоследствии множество представителей других направлений физики потешались над космологами (и до сих пор потешаются) за жалкие и занудные потуги на точность.

Кроме того, они думали бы: «Боже мой, меня сейчас заварят заживо!»

И машину муравьи не водят.

Нет-нет, мы не считаем, что вы пытались это сделать. Мы о вас лучшего мнения.

Да, мы пишем слова вроде «левая сторона уравнения», чтобы не писать само уравнение. Иначе вы окончательно расслабитесь.

А если он будет крутиться достаточно долго, его начнет *тошнить* вверх по стенкам. Гы-гы-гы.

«Мам, привет, это я. Я тут читаю одну книжку про физику, так там говорится, как подсчитать плотность нашей Вселенной относительно критической».

Это непревзойденно удачная попытка астрономов получить точные числа.

А вы, конечно, помните.

М-да. Опасные шутки с раскидайчиком, рентген для галактики... Эта глава сделает вас завсегдаем травматологического пункта.

Главная теория была и есть известна под названием «Теория инфляции», и о ней мы подробно поговорим в следующей главе. Нынешние оценки показывают, что Ω_m составляет около 28 % (в противоположность 100 %, предсказанным первыми моделями инфляции), и это должно разнести эту теорию в пух и прах раз и навсегда. Однако теоретики каким-то образом сообразили, что можно подправить формулы, и все снова запорхает. Это должно стать для вас ценным уроком доверия к физикам-теоретикам, которые утверждают, будто в чем-то уверены.

Поскольку к тому моменту Солнце уже давно пройдет стадию красного гиганта и спалит Землю дотла, нас это уже не будет интересовать.

Возьмите обычную струну, сделайте из нее петлю, а потом разрежьте струну пополам и сделайте по петле из каждого куска.

Мы допускаем, что использовать в разговоре о таких деликатных материях выражения вроде «Большой взрыв» чревато тем, что, когда крошка Билли подрастет и разберется, откуда он на самом деле взялся, для него это может оказаться травмой. Пусть психологи разбираются.

Эквивалент маленького стандартного шестигранного сборочного ключа.

Неужели вы не понимаете, что это нанесет младенцу страшную душевную травму?! Поосторожнее с этой вашей физикой.

Да-да, мы тоже можем отпускать детсадовские шуточки. Хорошо, что вы их понимаете.

Абсолютный ноль — это минимальная возможная температура (-278° по Цельсию или -460° по Фаренгейту), при которой останавливается движение атомов.

Если вы из тех безумцев, у кого дома хранится больше одной книжки про физику, или если вам вздумается залезть в «Википедию» и проверить, не обманываем ли мы вас, то вы обнаружите, что этот момент почти все называют «рекомбинацией». Это плохой термин, так как, по нашему мнению, приставка «ре» предполагает, будто что-то произошло снова, а не впервые (как было на самом деле).

А еще вас ждала бы жуткая смерть — вы бы сгорели заживо.

Если вы решите при помощи настоящего «Руководства» объяснять кое-какие физические факты малолетним отпрыскам, рекомендуем несколько подредактировать наши чересчур вольные выражения.

Да-да, дедуля, раньше и сахар был слаще, и небо голубее.

Физики отменно умеют уворачиваться от неловких вопросов, даже если припереть их к стенке.

А некоторые нейтроны, подобно старым холостякам, так и коротали свои дни, попивая теплое баночное пиво в носках и несвежих майках, усталые и сломленные.

Можете считать, что частица Хиггса — это такая Йоко ранней Вселенной.

Когда это вы успели так поумнеть? Нет-нет, что вы, мы не против.

За такое время даже свет успел бы пробежать лишь одну триллионную поперечника атомного ядра.

Нет, это не опечатка. Просто в дело вступает еще одна частица, такая же, как наши старые знакомые: электрон, фотон, инфлятон.

«Мы находимся в лаборатории им. Ферми, где все нейтрино были тайно заменены кристаллами Фольгера. Интересно, заметит ли кто-нибудь?»

Вроде Дня сурка.

«Гравитационное притяжение между бранами» часто называют «любовью» (особенно в научном сообществе, где никто не придает значения внешней красоте).

К сожалению, в конце книги, как правило, приводятся не все ответы, а только через один.

Один из многих случаев, когда киноиндустрия помогла астрофизическому сообществу, предположил, будто наша планета населена прехорошенькими сексапильными дамочками.

Некоторое время этот проект не получал правительственной поддержки, поэтому с 1999 года опирается на помощь отдельных пользователей компьютеров, чтобы прокачивать колоссальные объемы данных, полученных с телескопов. Если вы тоже хотите помочь, посмотрите в Интернете SETI@Home.

В общем, путешествие эконом-классом.

Серия 4182: бесстрашная команда наконец заканчивает партию в «Монополию», начатую в серии 1205!

«А в куртке смотрел? А в пиджаке? А в штанах? Нет-нет, в брюках!»

130

Подсказка: она называется на ту же букву, что и черно-белая полосатая лошадь.

Они так мельтешат ложноножками и ворсинками, что невозможно разобрать язык жестов.

Что бы ни твердила вам мама.

Иные люди уверены, будто клише — лучшая вещь на свете после хлеба в нарезке.

Два литра диетической колы, полдюжины аспирантов-невротиков и телега грантовых денег.

Физики превратили странноватые сокращения в настоящее искусство.

Вспомните, например, ЭПР-парадокс из главы 3. И, несмотря на все его предостережения, мужчины до сих пор носят штаны.

Открыть новую частицу не так просто, как нарисовать кружочек на клеенке, на которой остались следы от чашек с кофе. Физикн-теоретики годы напролет изучают симметрии, организуют эксперименты в ускорителях стоимостью миллионы долларов и в конце концов рисуют кружочки на салфетках, облитых шампанским на банкете по случаю получения Нобелевки.

Мы несколько передергиваем факты. Как мы уже сказали, существует много кандидатов на роль темной материи, в том числе аксионы, черные дыры и монополи Дирака, которые не являются *WIMP*. Но мы бы все-таки делали ставку на какой-то вариант *WIMP*.

С другой стороны, история знает много случаев, когда физики пили ртуть или хранили радиоактивные реактивы в прикроватных тумбочках.

Если хотите знать, вино само по себе не кандидат на роль темной материи, но ведь Рыжий, когда надерется, ничего не разбирает.

Лишняя «с» означает «супер».

А вы нам не верите!

Видите? Так что не бойтесь поднять руку, пусть вас тоже сосчитают.

И мамам своим мы звоним с завидной регулярностью, возможно, компульсивно, поэтому стараемся не слишком увлекаться психоанализом.

Для наглядности: бассейн «Супер-Камиоканде» примерно в 10 раз больше по объему олимпийского плавательного бассейна — и все это находится в километре под землей. Это нужно, чтобы защитить бассейн от всех посторонних сигналов вроде космических лучей.

Это означает, что мы катастрофически недооценили количество граней на нашей игральной кости. Теперь мы добавляем количество граней, пока не окажется, что разумно ожидать отрицательного результата. И не только отмели несколько ранних теорий, но и уяснили, что протон живет как минимум 1035 лет.

Или одинарную — ведь распада протонов пока никто не пронаблюдал.

Мы предпочитаем перхлороэтилен — у него такой яркий букет, — но в крайнем случае можете использовать и тетрахлорэтен. Нейтринно он ловит ничуть не хуже, и ваши гости не заметят разницы.

Красоту самих физиков мы обсуждать не будем, это вопрос спорный.

Да уж, только в мире физики огромный бак радиоактивного газа, который еще поди собери, называется «относительно простым устройством».

Предположим, опция «вниз» не рассматривается. Будем считать, что это очень искусный канатоходец.

Wolt, Peter. Not Even Wrong; *Smolin, Lee.* The Trouble with Physics.

Эти лекции неоднократно издавались на русском языке. См.: *Фейнман Р... Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике (любое издание). — *Примеч. перев.*