**Митио Каку. Физика невозможного**

В Физики невозможного известный физик Митио Каку исследует кажущиеся сегодня неправдоподобными технологии, явления или приборы с точки зрения возможности их воплощения в будущем. Рассказывая о нашем ближайшем будущем, ученый доступным языком говорит о том, как устроена Вселенная, что такое большой взрыв и черные дыры, антивещество. Еще совсем недавно нам трудно было даже вообразить сегодняшний мир привычных вещей. Мобильный телефон и Интернет казались невозможными. Вы узнаете, какие смелые прогнозы писателей-фантастов и авторов фильмов о будущем имеют шанс сбыться у нас на глазах. Уже в XXI веке, при нашей жизни, возможно, будут реализованы силовые поля, невидимость, чтение мыслей, связь с внеземными цивилизациями и даже телепортация и межзвездные путешествия.

Митио Каку. Физика невозможного. – М.: [Альпина нон-фикшн](http://www.alpinabook.ru/catalog/PopularScience/5426/?av=1), 2016. – 456 с.



Купить цифровую книгу в [ЛитРес](http://www.litres.ru/mitio-kaku/fizika-nevozmozhnogo/?lfrom=13042861), бумажную книгу в [Ozon](http://www.ozon.ru/context/detail/id/4239215/?partner=baguzin) или [Лабиринте](http://www.labirint.ru/books/186833/?p=13320)

### ВВЕДЕНИЕ

В данной книге я разделил «невозможное» на три категории. В первую категорию попадают технологии, сегодня невозможные, но не нарушающие известных законов природы. Таким образом, они могут стать возможными уже в этом столетии или, может быть, в следующем в измененной форме. К этой категории относятся телепортация, двигатели на антивеществе, некоторые формы телепатии, телекинез и невидимость. Ко второй категории относятся технологии, лишь недавно всерьез обозначившиеся на переднем крае наших представлений о физическом мире. Если они вообще возможны, то реализация их может растянуться на тысячи и даже миллионы лет. Сюда относятся машины времени, возможность гиперпространственных путешествий и путешествия сквозь кротовые норы. К последней категории относятся технологии, которые нарушают известные нам физические законы. Удивительно, но невозможных технологий этого типа оказалось очень мало. И если когда-нибудь окажется, что они тоже возможны, это будет означать фундаментальный сдвиг в наших представлениях о физике.

Карл Саган однажды написал: «Что значит для цивилизации возраст, скажем, в миллион лет? Радиотелескопы и космические корабли появились у нас несколько десятилетий назад; наша технологическая цивилизация насчитывает всего лишь несколько сотен лет... развитая цивилизация, за плечами которой миллионы лет развития, настолько же опережает нас, насколько мы сами опережаем какого-нибудь лемура или макаку» (подробнее см. [Карл Эдвард Саган. Мир, полный демонов. Наука — как свеча во тьме](http://baguzin.ru/wp/?p=12380)).

## ЧАСТЬ I. НЕВОЗМОЖНОСТИ I КЛАССА

### Глава 1. ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

В научной фантастике это тонкий невидимый, но при этом непроницаемый барьер, способный одинаково легко отражать лазерные лучи и ракеты. На первый взгляд силовое поле представляется настолько простым, что его создание кажется неминуемым. Но, как ни странно, силовое поле оказывается одним из тех явлений, которые чрезвычайно сложно воспроизвести в лаборатории. Некоторые физики даже полагают, что это вообще не удастся сделать без изменения его свойств.

Одним из величайших достижений физики за последние два тысячелетия стало выделение и определение четырех видов взаимодействия, которые правят вселенной. Все они могут быть описаны на языке полей, которым мы обязаны Фарадею. К несчастью, однако, ни один из четырех видов не обладает в полной мере свойствами силовых полей, описанных в большинстве фантастических произведений. Перечислим эти виды взаимодействия.

1. Гравитация.
2. Электромагнетизм (ЭМ). Сила, освещающая наши города. Лазеры, радио, телевидение, современная электроника, компьютеры, Интернет, электричество, магнетизм — все это следствия проявления электромагнитного взаимодействия.
3. Слабое ядерное взаимодействие — это сила радиоактивного распада, та, что разогревает радиоактивное ядро Земли.
4. Сильное ядерное взаимодействие не дает рассыпаться ядрам атомов; оно обеспечивает энергией солнце и звезды и отвечает за освещение Вселенной.

Хотя защитные поля в научной фантастике и не подчиняются известным законам физики, все же существуют лазейки, которые в будущем, вероятно, сделают создание силового поля возможным. Во-первых, существует, возможно, пятый вид фундаментального взаимодействия, который никому до сих пор не удалось увидеть в лаборатории. Во-вторых, нам, возможно, удастся заставить плазму имитировать некоторые свойства силового поля. Плазма – газ, состоящий из ионизированных атомов.

В научной фантастике силовые поля выполняют еще одну функцию, кроме отражения ударов из лучевого оружия, а именно служат опорой, которая позволяет преодолевать силу притяжения. В фильме «Назад в будущее» Майкл Фокс катается на парящей доске; эта штука во всем напоминает привычный скейтборд, вот только «ездит» по воздуху, над поверхностью земли.

Если мы поднесем северный полюс постоянного магнита к северному же полюсу другого такого же магнита, магниты будут отталкиваться друг от друга. Этот же принцип — то, что одноименные полюса магнитов отталкиваются, — можно использовать для подъема с земли огромных тяжестей.

 Уже сейчас в нескольких странах идет строительство технически передовых поездов на магнитной подвеске. Такие поезда проносятся не по путям, а над ними на минимальном расстоянии; на весу их удерживают обычные магниты. Поезда как бы парят в воздухе и могут благодаря нулевому трению развивать рекордные скорости. Однако, магниты из обычных материалов очень дороги. Можно было бы использовать магниты из сверхпроводников. Но пока сверхпроводимость существует только при очень низких температурах.

Сверхпроводимость при комнатной температуре — «святой грааль» физиков твердотельщиков. Получение таких веществ, по всей вероятности, послужит началом второй промышленной революции. Мощные магнитные поля, способные удерживать на весу машины и поезда, станут настолько дешевыми, что даже «планирующие автомобили», возможно, окажутся экономически выгодными. Мировой рекорд для высокотемпературных сверхпроводников принадлежит веществу, представляющему собой сложный оксид меди, кальция, бария, таллия и ртути, которое становится сверхпроводящим при 138 K (–135 °C). К сожалению, в настоящее время не существует теории, которая объясняла бы свойства высокотемпературных сверхпроводников.

### Глава 2. НЕВИДИМОСТЬ

Невидимость давно стала одним из привычных чудес научно-фантастических и фэнтезийных произведений — от «Человека невидимки» до волшебного плаща-невидимки Гарри Поттера или кольца из «Властелина колец». Возможно, самым многообещающим в плане невидимости из недавних достижений является экзотический новый материал, известный как «метаматериал». Это вещества, обладающие несуществующими в природе оптическими свойствами. При создании метаматериалов в вещество внедряются крошечные имплантаты, которые вынуждают электромагнитные волны выбирать нестандартные пути.

Если бы можно было управлять показателем преломления в метаматериале так, чтобы свет огибал некий объект, то объект этот станет невидимым. Для получения такого эффекта показатель преломления в метаматериале должен быть отрицательным, но в любом учебнике оптики сказано, что это невозможно. Однако в последние несколько лет метаматериалы были-таки получены в лаборатории, что вынудило физиков заняться переписыванием учебников по оптике.

Хотя настоящий плащ-невидимка уже не противоречит известным законам природы — а с этим в настоящий момент соглашается большинство физиков, — ученым предстоит преодолеть еще много сложных технических препятствий, прежде чем эту технологию можно будет распространить на работу с видимым светом, а не только с микроволновым излучением. В начале 2007 г. ученые объявили, что сумели создать метаматериал с показателем преломления 0,6 для красного света с длиной волны 780 нм.

Ключом к невидимости может стать развитие нанотехнологий, т. е. способности манипулировать структурами атомных размеров. Моментом зарождения нанотехнологий называют знаменитую лекцию с ироничным названием «На дне полным-полно места», которую прочитал нобелевский лауреат Ричард Фейнман перед Американским физическим обществом в 1959 г. (о великом ученом см. [Леонард Млодинов. Радуга Фейнмана. Поиск красоты в физике и в жизни](http://baguzin.ru/wp/?p=11510)).

В настоящее время практически все «наномашины» представляют собой всего лишь игрушки. Более сложные машины с передачами и подшипниками еще только предстоит создать. Но многие инженеры уверены, что время реальных атомных машин уже на подходе. В природе такие машины существуют. Например, одноклеточные организмы.

### Глава 4. ТЕЛЕПОРТАЦИЯ

В 1905 г. Эйнштейн показал, что световые волны могут вести себя наподобие частиц; это значит, что они могут быть описаны как пакеты энергии, известные под названием фотонов. Но примерно к 1920 г. Шрёдингеру стало очевидно, что обратное тоже верно: частицы, к примеру электроны, могут вести себя подобно волнам. Эту идею первым высказал французский физик Луи де Бройль, удостоенный за эту гипотезу Нобелевской премии. Как Максвелл в свое время взял физические поля Фарадея и вывел уравнения Максвелла для света, Шрёдингер взял частицу-волну де Бройля и вывел уравнение Шрёдингера для электронов.

Шрёдингер понял, что старая модель атома, принадлежащая Нильсу Бору, — та самая, где электроны носятся вокруг ядра и которую до сих пор рисуют в книгах и рекламных проспектах как символ современной науки — на самом деле неверна. Круговые орбиты электронов вокруг ядра атома необходимо заменить волнами.

Но, если электрон описывается как волна, то что же в нем колеблется? Ответ на этот вопрос дал физик Макс Борн; он сказал, что эти волны представляют собой не что иное, как волны вероятности. Они сообщают только о том, с какой вероятностью вы обнаружите конкретный электрон в определенное время в определенной точке. Другими словами, электрон — это частица, но вероятность обнаружить эту частицу задается волной Шрёдингера. И чем выше волна, тем больше шансов обнаружить частицу именно в этой точке.

Гейзенберг сумел формализовать этот факт, предложив принцип неопределенности — постулат о том, что невозможно знать точную скорость и точное положение электрона в один и тот же момент. Невозможно точно определить и его энергию в заданный промежуток времени. На квантовом уровне нарушаются все фундаментальные законы здравого смысла: электроны могут исчезать и вновь возникать в другом месте, а также находиться одновременно в нескольких местах.

Тот факт, что электроны, по-видимому, могут находиться во многих местах одновременно, составляет фундамент всей химии. В старших классах школы учитель часто говорит ученикам про «размазанный электрон», напоминающий продолговатый мяч для регби; он соединяет два атома между собой. Но вот о чем учителя химии почти никогда не рассказывают ученикам. Электрон, о котором идет речь, вовсе не «размазан» между двумя атомами. На самом деле этот «мяч для регби» представляет вероятность того, что электрон находится одновременно во множестве мест внутри данного объема. Другими словами, вся химия, изучающая и объясняющая строение молекул, из которых состоят наши тела, основана на представлении о том, что электроны могут находиться одновременно в нескольких местах; именно такое «совместное владение» электронами, которые умудряются одновременно принадлежать двум атомам, удерживает на месте атомы в молекулах нашего тела. Без квантовой теории наши молекулы и атомы распались бы в мгновение ока.

На самом деле квантовые «скачки», столь обычные внутри атома, невозможно легко перенести на крупные объекты вроде людей, состоящие из триллионов и триллионов атомов. Даже если электроны в нашем теле прыгают и скачут с места на место в своем фантастическом путешествии вокруг ядра, их так много, что прыжки усредняются и сглаживаются. Именно поэтому, говоря упрощенно, на нашем уровне вещества представляются твердыми и неизменными.

Но можно ли воспользоваться законами квантовой теории и создать машину для телепортации объектов по требованию, как происходит в научно-фантастических произведениях? Как ни удивительно, ответ однозначен: да, можно.

По существу, судьба квантовой телепортации тесно связана с судьбой проектов по разработке квантовых компьютеров. Обычные компьютеры считают в двоичной системе счисления и оперируют только нулями и единицами, которые называются битами. Но квантовые компьютеры гораздо мощнее. Они могут оперировать кубитами, или квантовыми битами, которые могут принимать и промежуточные между 0 и 1 значения (см. также [Александр Альбов. От абака до кубита](http://baguzin.ru/wp/?p=13606)).

Квантовые компьютеры еще не вышли из младенческого возраста. У квантовой телепортации и квантовых компьютеров один и тот же фатальный недостаток: необходимость поддерживать когерентность большого количества атомов.

### Глава 5. ТЕЛЕПАТИЯ

В XIX в. ученые подозревали, что внутри мозга передаются электрические сигналы. В 1875 г. Ричард Кейтон обнаружил, что слабые электрические сигналы, излучаемые мозгом, можно уловить при помощи электродов, размещенных на поверхности головы. Это открытие со временем привело к созданию электроэнцефалографа (ЭЭГ).

В принципе мозг действительно представляет собой передатчик, по которому наши мысли разносятся посредством очень слабых электрических сигналов и электромагнитных волн. Но вот использовать эти сигналы для чтения мыслей проблематично. Во-первых, сигналы чрезвычайно слабы, их мощность измеряется в милливаттах. Во-вторых, они очень путаные и почти неотличимы от «белого шума». Из этой мешанины можно выделить только самую грубую информацию о наших мыслях. В-третьих, наш мозг не способен принимать подобные сигналы от другого мозга; у человека нет для этого антенны. И наконец, даже если бы мы научились принимать эти слабые сигналы, мы не смогли бы расшифровать их. Обычная физика Ньютона и Максвелла, по всей видимости, не разрешает телепатию по радио.

Кое-кто считает, что телепатия, возможно, передается посредством пятой силы, известной как пси-сила. Но даже сторонники парапсихологии признают, что у них нет конкретных воспроизводимых свидетельств существования пси-силы.

Телепатия, какую часто описывают в научной фантастике и фэнтези, на сегодняшний день невозможна. МРТ-снимки и ЭЭГ-волны можно использовать только для чтения простейших мыслей, потому что мысли сложным образом распределены по всему объему мозга. Но кто знает, какое развитие может получить эта технология в ближайшие десятилетия и столетия?

### Глава 6. ТЕЛЕКИНЕЗ

Проблема телекинеза состоит в том, что он не слишком согласуется с известными законами физики. Гравитация, самый слабый вид взаимодействия во вселенной, может только притягивать; ее невозможно использовать для левитации или отталкивания объектов. Электромагнитное взаимодействие подчиняется уравнениям Максвелла и не признает возможности перемещения по комнате электрически нейтральных предметов. Ядерные силы работают только на малых расстояниях, таких как расстояния между частицами в ядре. Еще одна проблема телекинеза — источник энергии. Человеческое тело способно выдать мощность всего лишь в одну пятую лошадиной силы, поэтому, когда Йода в «Звездных войнах» левитировал силой мысли целый космический корабль, или, когда Циклоп пускал из глаз лазерные лучи, то эти деяния нарушали закон сохранения энергии — ведь крошечное существо вроде Йоды не в состоянии скопить достаточно энергии для поднятия космического корабля. Как бы мы ни концентрировали волю и мысли, мы не в состоянии собрать достаточно энергии для действий и чудес, приписываемых телекинезу.

Нет противоречия законам природы в том, что в будущем люди научатся тренировать свои скрытые способности — и в результате мысленно управлять чувствительным электронным устройством. Примитивным устройством для телекинеза можно считать даже электроэнцефалограф. Со временем человек научается по требованию изображать на экране прибора определенный тип волнового рисунка. Полученное изображение можно направить в компьютер, который, согласно заложенной программе, будет распознавать тип волнового рисунка, а затем выполнять соответствующую ему конкретную команду — к примеру, включать какой-то прибор или запускать двигатель. Другими словами, человек может, просто подумав определенным образом, получить на ЭЭГ-экране определенный рисунок мозговой деятельности — и запустить тем самым компьютер или движок. К примеру, таким образом полностью парализованный человек мог бы управлять своим креслом исключительно при помощи мыслей.

### Глава 7. РОБОТЫ

Принимая во внимание стремительное развитие компьютерной техники, можно ли ожидать, что когда-нибудь машины захватят власть? Некоторые ученые отвечают на этот вопрос отрицательно, потому что сама идея искусственного интеллекта никуда не годится. Скептики говорят, что человеческий мозг — самая сложная система, созданная природой за все время ее существования (по крайней мере, в нашей части галактики), и любые попытки воспроизвести искусственным образом процесс мышления обречены на провал.

Могут ли машины думать? Уже больше столетия ответ на этот вопрос разделяет научное сообщество на два непримиримых лагеря. Искусственный интеллект, или ИИ, существенно отличается от технологий, которые мы обсуждали до сих пор. Дело в том, что мы до сих пор слабо понимаем лежащие в основе этого явления фундаментальные законы. Физики неплохо понимают ньютонову механику, максвеллову теорию света, релятивизм и квантовую теорию строения атомов и молекул — но базовые законы разума до сих пор скрыты покровом тайны.

Самую на данный момент влиятельную личность в области ИИ. Это великий британский математик Алан Тьюринг — провидец, сумевший заложить краеугольный камень в исследование этой проблемы. Именно с Тьюринга начинается компьютерная революция. Он создал в своем воображении машину (которую с тех пор называют машиной Тьюринга), состоящую всего из трех элементов: вход, выход и центральный процессор (подробнее о Тьюринге см. [Эндрю Ходжес. Игра в имитацию](http://baguzin.ru/wp/?p=11970)).

Кроме того, Тьюринг внес большой вклад в основание математической логики. В 1931 г. венский математик Курт Гёдель произвел в мире математики настоящую сенсацию; он доказал, что в арифметике существуют истинные утверждения, которые невозможно доказать средствами одной только арифметики (см. [Чарльз Петцольд. Читаем Тьюринга](http://baguzin.ru/wp/?p=12061), [Эрнест Нагель, Джеймс Рой Ньюмен. Теорема Гёделя](http://baguzin.ru/wp/?p=13199)).

Гёдель показал, что всегда будут существовать истинные утверждения, доказательство которых нам недоступно. Тьюринг тоже принял участие в этой революции. Он показал, что в общем случае невозможно предсказать, потребуется ли машине Тьюринга на выполнение определенных математических операций по заданной ей программе конечное или бесконечное количество шагов. Но если на вычисление чего-то требуется бесконечное время, это означает, что то, что вы просите компьютер вычислить, вычислить вообще невозможно. Так Тьюринг доказал, что в математике существуют истинные выражения, которые невозможно вычислить, — они всегда останутся за пределами возможности компьютера, каким бы мощным он ни был.

Сегодня Тьюринга, вероятно, лучше всего знают благодаря тесту Тьюринга. Устав от бесплодных и бесконечных философских дебатов о том, может ли машина «думать» и есть ли у нее «душа», он попытался внести в дискуссию об искусственном интеллекте четкость и точность и придумал конкретный тест. Он предложил поместить машину и человека в отдельные изолированные и опечатанные помещения, а затем задавать обоим вопросы. Если вы окажетесь не в состоянии отличить по ответам машину от человека, можно считать, что машина прошла тест Тьюринга.

Некоторые философы и теологи выступают в этом вопросе единым фронтом: они считают, что создать настоящего робота, способного думать, как человек, невозможно. Философ из Университета Калифорнии в Беркли Джон Сирл предложил следующие возражения. Суть сводится к разнице между синтаксисом и семантикой. По Сирлу, роботы способны овладеть синтаксисом языка (т. е. могут научиться корректно манипулировать его грамматикой, формальными структурами и т. п.), но не его истинной семантикой (т. е. смысловым значением слов).

Физик Роджер Пенроуз из Оксфорда тоже считает, что искусственный интеллект невозможен; механическое существо, способное думать и обладающее человеческим сознанием, противоречит квантовым законам. Человеческий мозг, утверждает Пенроуз, настолько превосходит все созданное человеком в лаборатории, что эксперимент по созданию человекоподобных роботов просто обречен на провал. (Он считает, что как теорема Гёделя о неполноте доказала, что арифметика неполна, так принцип неопределенности Гейзенберга докажет, что машины в принципе не способны думать по-человечески.)

Однако многие физики и инженеры считают, что ничто в законах природы не противоречит созданию настоящего робота. К примеру, Клода Шеннона, которого часто называют отцом теории информации, однажды спросили: «Могут ли машины думать?» Он ответил: «Конечно». Когда же его попросили пояснить ответ, он добавил: «Я думаю, разве не так?» Иными словами, он счел очевидным, что машины могут думать, потому что люди тоже машины (подробнее см. [Джеймс Глик. Информация. История. Теория. Поток](http://baguzin.ru/wp/?p=13062)).

Попытки ученых всего мира по созданию роботов встретились по крайней мере с двумя серьезными проблемами, которые не позволили сколько-нибудь заметно продвинуться в этом направлении: это распознавание образов и здравый смысл. Рассмотрим пример. Входя в комнату, мы мгновенно распознаем пол, кресла, мебель, столы и т.п. При этом робот, осматривая комнату, видит в ней только набор линий, прямых и изогнутых. Вторая — после распознавания образов — проблема, с которой сталкиваются попытки создания роботов, еще более фундаментальна. Это отсутствие у роботов так называемого «здравого смысла». Не существует такого исчисления, такой математики, которая могла бы выразить смысл высказываний.

Дети учатся здравому смыслу на ошибках, при неизбежных столкновениях с действительностью. Эмпирические законы биологии и физики также познаются на опыте — в процессе взаимодействия с окружающим миром. Но у роботов нет опыта такого рода. Они знают только то, что заложили в них программисты. Попытки запрограммировать все законы здравого смысла и загнать их в один компьютер провалились просто потому, что у здравого смысла слишком много законов.

### Глава 8. ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ И ЛЕТАЮЩИЕ ТАРЕЛКИ

Серьезные ученые, занятые поисками возможной внеземной жизни, утверждают: об этой жизни — если, конечно, она существует — невозможно сказать ничего определенного. Тем не менее, исходя из наших знаний о физике, химии и биологии, можно сделать несколько общих предположений о природе внеземной жизни. Для жизни, по всей видимости, необходима жидкая вода, углеводородные соединения и какая-то форма самовоспроизводящейся молекулы вроде ДНК. Пользуясь этими довольно общими критериями, мы можем примерно оценить, с какой частотой встречается во Вселенной разумная жизнь. Одним из первых такую оценку провел астроном Корнеллского университета Фрэнк Дрейк в 1961 г. В одной только галактике Млечный Путь может существовать от 100 до 10 000 планет, на которых имеется разумная жизнь.

Были запущены несколько проектов по поиску внеземных цивилизаций. Откровенное отсутствие результатов после нескольких десятилетий тяжелой работы вынуждает сторонников активного поиска внеземного разума искать ответы на трудные вопросы.

Русский астрофизик Николай Кардашев выдвинул предположение о том, что стадии развития внеземных цивилизаций Вселенной можно классифицировать по уровню потребления энергии:

1. Цивилизации I типа: те, кто собирает планетарную энергию, полностью используя падающий на планету солнечный свет.
2. Цивилизации II типа: те, кто полностью использует энергию своего светила, что делает их в 10 млрд раз могущественнее цивилизаций I типа.
3. Цивилизации III типа: те, кто может пользоваться энергией целой галактики, что делает их в 10 млрд раз могущественнее цивилизаций II типа.

Наша цивилизация может считаться цивилизацией типа 0 (так как наши машины работают на энергии горения мертвых растений, нефти и угля).

### Глава 9. ЗВЕЗДОЛЕТЫ

Однажды в далеком будущем наступит наш последний спокойный день на Земле. Когда-нибудь Земля погибнет в пламени и будет поглощена Солнцем. Это закон природы. Катастрофа произойдет в течение ближайших 5 млрд лет.

Итак, установлено, что человечество должно когда-нибудь покинуть Солнечную систему и переселиться к соседним звездам или погибнуть. Остается вопрос: как туда попасть? До ближайшей к нам звезды, Альфы Центавра, больше 4 св. лет. Традиционные ракеты с химическими реактивными двигателями, рабочие лошадки нынешней космической программы, с трудом развивают скорость до 18 км/с. С этой скоростью лететь до ближайшей звезды пришлось бы 70 000 лет. Очевидно, если мы хотим когда-нибудь добраться до звезд, нам потребуются ракеты совершенно иного типа.

Если нужно сравнить эффективность различных типов двигателей, инженеры обычно говорят об удельном импульсе. Удельный импульс определяется как изменение импульса на единицу массы израсходованного топлива. Таким образом, чем эффективнее двигатель, тем меньше топлива требуется для вывода ракеты в космос. Импульс, в свою очередь, есть результат действия силы в течение определенного времени. Химические ракеты, хотя и обладают очень большой тягой, работают всего несколько минут, а потому характеризуются очень низким удельным импульсом. Ионные двигатели, способные работать годами, могут иметь высокий удельный импульс при очень низкой тяге.

Удельный импульс измеряется в секундах. Максимально возможным удельным импульсом обладала бы ракета, способная достигать скорости света. Ее удельный импульс составил бы около 30 млн.



Рис. 1. Удельные импульсы, характерные для различных типов реактивных двигателей

### Глава 10. АНТИВЕЩЕСТВО И АНТИВСЕЛЕННЫЕ

Эффективность атомной бомбы, несмотря на всю ее жуткую мощь, составляет всего около 1%. В энергию переходит лишь крохотная часть массы урана. А вот бомба из антиматерии, если бы такую удалось создать, превращала бы в энергию 100% своей массы, и потому была бы гораздо более эффективной, чем атомная бомба. Долгое время антивещество находилось в фокусе общественного и научного интереса. Хотя бомбы из антивещества по-прежнему не существует, физики научились создавать небольшие порции антивещества для изучения при помощи мощных ускорителей.

Поиски антивещества во Вселенной, к большому удивлению физиков, почти не дали результатов. Трудно объяснить, почему наша Вселенная состоит преимущественно из вещества, а не из антивещества. Казалось бы, логично предположить, что при рождении Вселенной вещество и антивещество возникли в равных, симметричных количествах. Поэтому так поражает почти полное отсутствие антивещества. Наиболее вероятный ответ на этот вопрос первым сформулировал Андрей Сахаров, человек, разработавший в 1950х гг. для Советского Союза водородную бомбу. Сахаров рассуждал так: в начале Вселенной, во время Большого взрыва, возникла легкая асимметрия в количестве вещества и антивещества, причиной которой стало так называемое нарушение зарядовой и четной симметрии (CP-симметрии). В настоящее время это явление — предмет самых интенсивных исследований. В конечном итоге, рассуждал Сахаров, все атомы нашей сегодняшней Вселенной представляют собой остатки почти полной взаимной аннигиляции материи и антиматерии; это взаимное космическое уничтожение последовало за Большим взрывом. Лишь крохотная несимметричная часть вещества образовала остаток, из которого и сформировалась сегодняшняя видимая Вселенная. Все атомы наших тел — остатки титанического столкновения вещества и антивещества.

Что такое антивещество? Представляется странным, что природа без всяких видимых причин удвоила число элементарных частиц во вселенной. Как правило, природа очень экономна — но в отношении пары вещество-антивещество она, похоже, повела себя в высшей степени расточительно. Открытие антивещества относится еще к 1928 г., к новаторским работам Поля Дирака. Дирак понял, что уравнение Шрёдингера имеет серьезный недостаток. Оно описывает только медленно движущиеся электроны. На более высоких скоростях уравнение перестает действовать, так как не подчиняется законам относительности Альберта Эйнштейна.

Работая над новым уравнением для электрона, Дирак обнаружил, что уравнение Эйнштейна E=mc2 верно лишь отчасти. Верное уравнение выглядит так: E = ±mc2. (Минус возникает потому, что в процессе вывода нам приходится брать квадратный корень из определенной величины. А операция взятия квадратного корня всегда привносит в выражение неопределенность в знаке.)

Всего через несколько лет после этого поразительного предсказания Карл Андерсон действительно обнаружил антиэлектрон, и в 1933 г. Дирак получил за свое предсказание Нобелевскую премию. Другими словами, антивещество существует потому, что уравнение Дирака имеет два варианта решений — одно для вещества, другое для антивещества. (А это есть следствие специальной теории относительности.)

## ЧАСТЬ II. НЕВОЗМОЖНОСТИ II КЛАССА

### Глава 11. БЫСТРЕЕ СВЕТА

В чем секрет гения Эйнштейна? Возможно, одной из ключевых черт его таланта была способность думать в терминах физической картины (представлять себе движущиеся поезда, ускоряющиеся часы, растянутое полотно и т. п.), а не чистой математики. Уже юношей он знал, что движение объектов на Земле и в небесах подчиняется механике Ньютона, а свет описывается теорией Максвелла. На тот момент вся физика стояла именно на этих двух столпах. Эйнштейн первым понял, что «столпы» противоречат друг другу; может быть, в этом и состоит сущность его гения. Один из столпов должен был пасть.

Согласно Ньютону, обогнать свет можно без особого труда — ведь ни сам свет, ни его скорость не представляют собой ничего особенного. Это означало, что если вы будете нестись рядом с лучом света со скоростью, равной его скорости, то луч в вашей системе координат остановится. Эйнштейн обнаружил факт, которого не знал даже Максвелл: что скорость света постоянна и не зависит от скорости вашего движения. Но если предположить, что скорость света постоянна и не зависит от скорости движения наблюдателя, то надо полностью менять представления о пространстве и времени. Чтобы скорость света оставалась постоянной, и пространство, и время необходимо было серьезно исказить.

Тот факт, что объект становится тем тяжелее, чем быстрее он движется, означает, что энергия движения переходит в массу. Точное количество энергии, которая при этом превращается в массу, посчитать несложно — всего за несколько строк преобразований можно получить знаменитое уравнение E = mc2.

Один из способов путешествовать быстрее скорости света — воспользоваться общей теорией относительности. Сделать это можно двумя способами:

1. Растянуть пространство. Если бы мы научились растягивать пространство позади себя и сжимать пространство впереди, впечатление бы возникло такое, как будто мы переместились из одного места в другое быстрее света. На самом деле мы не двигались бы вообще. Но деформация пространства впереди и позади корабля позволила бы нам в мгновение ока добраться до отдаленных звезд.
2. Разорвать пространство. В 1935 г. Эйнштейн ввел понятие «кротовая нора». В школе мы узнали, что кратчайшее расстояние между двумя точками — прямая. Но это не обязательно так; если свернуть лист бумаги так, чтобы точки соединились, то кратчайшим расстоянием между ними как раз и станет кротовая нора.

До сих пор не удалось обнаружить кротовых нор, но поиски продолжаются. В литературе первое упоминание о кротовых норах принадлежит перу оксфордского математика Чарльза Доджсона, написавшего под псевдонимом Льюис Кэрролл сказку «Алиса в Зазеркалье». Зеркало Алисы и есть кротовая нора, которая соединила окрестности Оксфорда с волшебным миром Страны чудес. Протянув руку сквозь зеркало, Алиса может мгновенно перенестись из одной вселенной в другую. У математиков они называются «многократно связанными пространствами».

В физике концепция кротовых нор возникла в 1916 г. Физик Карл Шварцшильд, служивший тогда в кайзеровской армии, нашел точное решение уравнений Эйнштейна для случая изолированной точечной звезды. Результат Шварцшильда произвел немедленное и очень сильное действие на все разделы астрономии, и сегодня он по-прежнему остается одним из самых известных решений уравнений Эйнштейна. Несколько поколений физиков использовали гравитационное поле этой гипотетической точечной звезды в качестве приближенного выражения для поля вокруг реальной звезды с конечным диаметром.

Но если рассмотреть это точечное решение серьезно, то в центре его неожиданно обнаружится чудовищный точечный объект, который почти столетие изумлял и шокировал физиков, — черная дыра. Из решения Шварцшильда явствовало, что при приближении к пресловутой точечной звезде происходят странные вещи. Сама звезда окружена невидимой сферой (известной как «горизонт событий»), которая является своеобразной чертой невозврата.

Если бы вам удалось пролететь черную дыру насквозь, там, с другой стороны, обнаружится иная вселенная. Это явление, впервые описанное Эйнштейном в 1935 г., носит название моста Эйнштейна-Розена; сейчас его называют еще кротовой норой. Астрофизик Артур Эддингтон как-то сказал, что «должен существовать закон природы, не позволяющий звездам вести себя столь нелепым образом». Другими словами, черная дыра, конечно, законное решение уравнений Эйнштейна, но механизм, посредством которого такая штука могла бы сформироваться естественным путем, неизвестен.

Ситуация кардинально изменилась с выходом в том же году статьи Роберта Оппенгеймера и его ученика Хартланда Снайдера; в этой работе ученые показали, что черные дыры все же могут формироваться естественным путем. Они предположили, что умирающая звезда, которая практически полностью истратила свое ядерное топливо, коллапсирует под действием гравитационных сил, т.е. схлопывается под собственной тяжестью. Если гравитация сможет сжать звезду до размеров, меньших, чем радиус горизонта событий, то дальше уже ничто на свете не сможет помешать ей сжать звезду в точку и превратить в черную дыру.

### Глава 12. ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Можно сказать, что больше остальных отличился в математических джунглях черных дыр и машин времени космолог Стивен Хокинг. В 1990 г. Хокинг ознакомился с работами коллег, в которых предлагались всевозможные версии машины времени, и отнесся к ним очень критически. Интуиция подсказывала ему, что путешествия во времени невозможны, — иначе почему мы не встречаем у себя туристов из будущего? Он заявил: должен существовать закон, запрещающий путешествия во времени. Но произошло неожиданное. Физики не могли отыскать закон, который прямо запрещал бы путешествия во времени.

Причина в том, что уравнения Эйнштейна допускают существование множества разных типов машины времени. (Правда, пока неясно, устоят ли они перед проверкой при помощи квантовой теории.) Более того, в теории Эйнштейна мы часто встречаем нечто под названием «замкнутая времяподобная кривая»; это технический термин для путей, которые позволяют путешествия в прошлое. Если следовать вдоль замкнутой времяподобной кривой, то можно вернуться из путешествия раньше, чем мы в него отправились. Первый тип машины времени предусматривает использование кротовых нор.

Другая машина времени может «работать» во вращающейся Вселенной. В 1949 г. знаменитый математик Курт Гёдель нашел первое решение уравнений Эйнштейна, имеющее отношение к путешествиям во времени. Если Вселенная вращается, то, обогнув ее достаточно быстро, можно оказаться в прошлом и попасть в точку старта раньше, чем вы оттуда отправились.

В 1997 г., когда трем физикам удалось наконец доказать, что намерение Хокинга раз и навсегда запретить путешествия во времени некорректно в принципе, спорные вопросы слегка прояснились. Ключевым для понимания путешествий во времени является понимание физики горизонта событий — а ее может описать и объяснить только теория всего. Именно поэтому большинство физиков в настоящий момент согласно в том, что единственный способ разрешить вопрос путешествий во времени — разработать полную теорию гравитации и пространства-времени.

Теория всего должна объединить четыре фундаментальных физических взаимодействия Вселенной и позволить нам математически рассчитать, что произойдет при входе в машину времени. Только теория всего могла бы успешно рассчитать радиационные эффекты, создаваемые кротовой норой, и разъяснить вопрос о том, насколько стабильной будет кротовая нора при входе человека в машину времени. Но даже после создания такой теории нам, возможно, придется ждать несколько веков или даже дольше, прежде чем первая машина времени сможет экспериментально проверить ее выводы.

### Глава 13. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВСЕЛЕННЫЕ

В последнее время концепция параллельных вселенных является одной из самых горячо обсуждаемых тем в теоретической физике. Активно обсуждается три типа параллельных вселенных: гиперпространство, или высшие измерения; мультивселенная; квантовые параллельные вселенные.

Здравый смысл и органы чувств говорят нам, что мы живем в трех измерениях. Три пространственных измерения образуют фундамент, основу греческой геометрии. В XIX в. «король математиков» Карл Гаусс разработал математику четвертого измерения в значительной степени, но побоялся публиковать результаты, опасаясь негативной реакции. В результате честь описать и опубликовать основы математики высших измерений выпала Георгу Бернхарду Риману, ученику Гаусса. (Через несколько десятилетий эта математика целиком вошла в общую теорию относительности Эйнштейна.) На своей знаменитой лекции в 1854 г. Риман одним махом опрокинул 2000 лет владычества греческой геометрии и установил основы математики высших, криволинейных измерений; мы и сегодня пользуемся этой математикой (подробнее см. [Леонард Млодинов. Евклидово окно](http://baguzin.ru/wp/?p=8071)).

Исторически сложилось так, что физики рассматривали четвертое измерение лишь как забавную диковинку. Никаких свидетельств существования высших измерений не было. Положение начало меняться в 1919 г., когда физик Теодор Калуца написал очень спорную статью, в которой намекнул на существование высших измерений. Начав с общей теории относительности Эйнштейна, он поместил ее в пятимерное пространство (пятое — время). Если делать размер Вселенной вдоль пятого измерения все меньше и меньше, уравнения волшебным образом распадаются на две части. Одна часть описывает стандартную теорию относительности Эйнштейна, зато другая превращается в теорию света Максвелла!

На протяжении нескольких десятилетий Эйнштейн принимался время от времени работать над этой теорией. Но после его смерти в 1955 г. теорию быстро забыли, она превратилась в забавное примечание на страницах истории физики. Все изменилось с появлением поразительной новой теории, получившей название теория суперструн. К началу 1980х гг. физики буквально утонули в море элементарных частиц. Лишь после десятилетий кропотливой работы этот густонаселенный зоопарк удалось организовать хоть в какую-то систему под названием Стандартная модель.

Но Стандартная модель, несмотря на экспериментальный успех, обладает одним очень серьезным недостатком. Как говорит Стивен Хокинг, «она некрасива и достаточно произвольна». Трудно поверить, что природа на самом первичном, базовом уровне может быть столь запутанной и в высшей степени неэлегантной.

Все изменилось с появлением на сцене теории суперструн, которая утверждает, что электрон и другие субатомные частицы представляют собой не что иное, как различные колебания струны, работающей примерно, как крошечная резиновая лента. Если дернуть за натянутую резинку, она будет вибрировать на разные лады — при этом каждая нота соответствует конкретной субатомной частице. Таким образом, теория суперструн объясняет существование сотен субатомных частиц, обнаруженных учеными при помощи ускорителей. Более того, теория Эйнштейна тоже укладывается в эту теорию как проявление одного из самых низкочастотных колебаний.

Но у теории суперструн есть одна очень странная особенность: эти самые струны могут колебаться только в пространстве времени определенной размерности — а именно в десятимерном. Если попытаться сформулировать теорию струн для другого числа измерений, ничего не выйдет; математический аппарат просто развалится. Разумеется, наша Вселенная четырехмерна (в ней три пространственных измерений и одно временное). Это означает, что остальные шесть измерений должны быть каким-то образом схлопнуты, или свернуты, подобно пятому измерению Калуцы.

Кроме высших измерений теория струн предсказывает существование и другой версии параллельных вселенных; речь идет о Мультивселенной. Мультивселенные способны сталкиваться между собой, порождая космические фейерверки. Некоторые физики в Принстоне считают, что наша Вселенная зародилась, возможно, при столкновении двух гигантских мембран, которое произошло 13,7 млрд лет назад. Они считают, что ударная волна от этого столкновения и стала причиной возникновения нашей Вселенной.

В пользу теории Мультивселенной говорит по крайней мере один факт. Если проанализировать основные физические константы, можно без труда обнаружить, что они очень точно «настроены» на то, чтобы в этих условиях могла существовать жизнь. Стоит увеличить ядерные силы — и звезды будут выгорать слишком быстро, чтобы жизнь успела возникнуть и развиться. Стоит их уменьшить — и звезды не будут вспыхивать вообще; естественно, жизнь в этом случае тоже не сможет существовать. Если увеличить силу тяготения, наша Вселенная быстро умрет в Большом сжатии; если ее немного уменьшить, она быстро расширится и замерзнет. Вообще, для того, чтобы в нашей Вселенной возникли подходящие для жизни условия, необходимы были десятки «случайностей», имеющих отношение к мировым константам. Очевидно, наша Вселенная по многим параметрам находится в «зоне жизни»; очень многое в ней «точно подобрано» для того, чтобы жизнь могла зародиться и существовать. Поэтому нам придется сделать вывод либо о существовании некоего Бога, который намеренно позаботился о том, чтобы наша Вселенная получилась такая, какая надо, либо о существовании миллиардов параллельных вселенных, многие из которых мертвы.

Сэр Мартин Рис из Кембриджского университета считает, что такая точная настройка всех параметров надежно свидетельствует в пользу Мультивселенной. Все пять главных физических констант (таких, как сила фундаментальных взаимодействий) в нашей Вселенной подобраны очень точно и годятся для жизни, и он убежден, что кроме нашей существует бесконечное число вселенных, в которых физические константы не совместимы с жизнью.

## ЧАСТЬ III. НЕВОЗМОЖНОСТИ III КЛАССА

### Глава 14. ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Каждая теория проходит четыре стадии, прежде чем быть принятой:

1. это бесполезная чепуха;
2. это интересно, но неправильно;
3. это верно, но совершенно не важно;
4. да я всегда так говорил.

*Дж. Холдейн (1963)*

Хотя ни одному изобретателю не удалось представить миру вечный двигатель, неустанная погоня за этим сказочным устройством помогла физикам тщательно изучить природу тепловых двигателей. (Точно так же, как бесплодные поиски философского камня, способного превращать свинец в золото, помогли открыть некоторые фундаментальные законы химии.) К примеру, в 1760х гг. Джон Кокс изобрел часы, которые на самом деле способны работать вечно, получая энергию от изменений атмосферного давления. Эти изменения улавливает барометр, который затем передают энергию на вращение часовых стрелок. Эти часы вполне работоспособны; такие модели существуют и сегодня. Они могут идти вечно, так как получают энергию извне в форме изменений атмосферного давления.

Вечные двигатели, подобные часам Кокса, со временем привели ученых к мысли о том, что машина—любая машина — может работать вечно только в том случае, если получает энергию извне; а это означит, что суммарная энергия сохраняется. Из этой теории берет начало первый закон термодинамики; он состоит в том, что совокупность вещества и энергии невозможно ни создать, ни уничтожить. Позже были установлены три закона термодинамики. Второй закон утверждает, что суммарная энтропия (количество беспорядка) всегда возрастает. (Грубо говоря, этот закон говорит, что тепло может спонтанно передаваться только от более горячих объектов к более холодным.) Третий закон утверждает, что достичь абсолютного нуля невозможно.

Три закона термодинамики, как и многие высшие достижения науки XIX в., отмечены не только триумфом побед, но и человеческой трагедией. Великий немецкий физик [Людвиг Больцман](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%BC%D0%B0%D0%BD%2C_%D0%9B%D1%8E%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3), сыгравший значительную роль в формулировании этих законов, покончил с собой — отчасти из-за противоречий, возникших в связи с их появлением.

Труды Больцмана и других физиков помогли прояснить природу вечного двигателя и даже разбить все существующие их схемы на два типа. Вечный двигатель первого типа нарушает первый закон термодинамики; это означает, что он попросту производит больше энергии, чем потребляет. В любом из подобных вечных двигателей физикам при тщательном исследовании физики удавалось обнаружить скрытые внешние источники энергии. Это могло быть как сознательным мошенничеством, так и результатом ошибки изобретателя.

Вечный двигатель второго типа — штука более сложная. В этих машинах соблюдается первый закон термодинамики, т. е. сохраняется энергия, но нарушается второй закон. Теоретически в вечном двигателе второго типа нет потерь тепла, поэтому он эффективен на 100%. Но второй закон термодинамики говорит, что такая машина невозможна — потери тепла должны быть обязательно, а количество беспорядка во Вселенной, иначе энтропия, всегда возрастает. Какой бы эффективной ни была машина, часть тепла непременно теряется, повышая таким образом энтропию Вселенной. В сущности, второй закон говорит нам, что ломать гораздо проще, чем строить.

Отмечая глубинную природу второго закона термодинамики, астроном Артур Эддингтон однажды сказал: «Мне кажется, что закон возрастания энтропии стоит выше других законов природы... если оказывается, что твоя новая теория противоречит второму закону термодинамики, оставь надежду; перед этим законом остается только униженно пасть».

А почему, собственно, должны работать эти непогрешимые законы термодинамики? Оказывается, один из фундаментальных принципов физики (открытый математиком Эмми Нётер в 1918 г.) гласит: если система обладает симметрией, в ней обязательно действует какой-нибудь закон сохранения. Из предположения о том, что законы Вселенной не меняются со временем, следует поразительный результат: энергия в системе должна сохраняться. Если законы природы остаются неизменными, в каком бы направлении вы ни двигались, то сохраняется не только энергия, но и импульс в любом направлении. А если законы природы остаются неизменными при вращении, то сохраняется еще и угловой момент.

Если энергия сохраняется только потому, что законы физики не меняются со временем, то не может ли быть, что в каких-нибудь необычных, редких обстоятельствах эта симметрия все-таки нарушается? Если в неожиданных и экзотических местах симметрия наших законов действительно нарушается, то и закон сохранения энергии в космических масштабах может нарушаться. Например, если существуют кротовые норы, может нарушаться и закон сохранения энергии.

### Глава 15. ПРЕДВИДЕНИЕ БУДУЩЕГО

Существует ли такая вещь, как ясновидение, или предвидение будущего? Путаная аллегорическая форма, в которую многие ясновидцы облекали свои предсказания, допускает самые разные, в том числе противоречащие друг другу, интерпретации. Катрены Нострадамуса, к примеру, изложены в такой общей форме, что каждый может прочитать в них все что угодно.

Предвидение будущего трудно примирить с современной наукой, потому что в этом случае нарушается причинно-следственная связь, или закон причины и следствия. Причина должна предшествовать следствию, а не наоборот. Причинно-следственная связь встроена во все законы физики, которые удалось обнаружить до сих пор, и от ее нарушения рухнет все здание современной физики.