

Дэйв  
ГОЛДБЕРГ

**ВСЕЛЕННАЯ  
в ЗЕРКАЛЕ  
ЗАДНЕГО ВИДА**

**БЫЛ ЛИ  
БОГ  
ПРАВШОЙ?**

или СКРЫТАЯ СИММЕТРИЯ,  
АНТИВЕЩЕСТВО  
и БОЗОН ХИГГСА

Фонд  
НАУКИ

**Дэйв Голдберг**  
**Вселенная в зеркале заднего**  
**вида. Был ли Бог правшой?**  
**Или скрытая симметрия,**  
**антивещество и бозон Хиггса**  
**Серия «Золотой фонд науки»**

*Текст предоставлен правообладателем*

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=10432862](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=10432862)*

*Вселенная в зеркале заднего вида. Был ли Бог правшой?  
Или скрытая симметрия, антивещество и бозон Хиггса: АСТ;*

*Москва; 2015*

*ISBN 978-5-17-090528-7*

### **Аннотация**

Не любите физику? Вы просто не читали книги Дэйва Голдберга! Эта книга познакомит вас с одной из самых интригующих тем современной физики – фундаментальными симметриями. Ведь в нашей прекрасной Вселенной практически все – от антивещества и бозона Хиггса до массивных скоплений галактик – формируется на основе скрытых симметрий! Именно

благодаря им современные ученые делают свои самые сенсационные открытия.

Можно ли создать устройство для мгновенной передачи информации? Что будет, если Землю засосет в черную дыру? Что не рассказывают на школьных уроках о времени и пространстве? Читайте, и вы узнаете ответы на эти вопросы. Это понятно, увлекательно, это может быть смешно – именно так вы теперь будете думать о физике.

# Содержание

Отзывы на книгу	7
Введение	12
Глава первая. Антивещество	30
Да ну их, антилюдей, сам- то я откуда взялся?	33
Как сделать что-то из ничего?	43
А где все антилюди?	49
Итак, вещество и антивещество одинаковы, а может быть, и нет	57
Физика в зеркале	73
Зеркала и антивещество	85
Глава вторая. Энтропия	93
О том, что пространство и время – это одно и то же. Или нет	96
Опять история! Сколько можно?!	105
Окло	113
Стрела времени	117
Второй закон	123
А нельзя ли обойти Второй закон?	134
Почему Вселенная сначала была такая скучная?	143
Глава третья. Космологический принцип	151
Центр мироздания	153



**Дэйв Голдберг**  
**Вселенная в зеркале**  
**заднего вида. Был ли Бог**  
**правшой? Или скрытая**  
**симметрия, ативещество**  
**и бозон Хиггса**

© 2013 by Dave Goldberg

© Бродоцкая А. перевод на русский язык, 2015

© ООО «Издательство АСТ», 2015

\* \* \*

# Отзывы на книгу «Вселенная в зеркале заднего вида»

«Вселенная в зеркале заднего вида» – великолепное чтение для каждого, кто стремится понять, почему наша вселенная так сложна и так чудесна... Голдберг – великолепный спутник, который доведет вас к месту назначения – к восхищению красотой мироздания.

## ***Nature Physics***

Математические симметрии таят в себе ответы на множество вопросов, однако Голдберг на протяжении всей своей остроумной и легкой книги расставляет для читателя вехи, не перегруженные математическими выкладками. Совет: не пропускайте многочисленные сноски, полные юмора для высоколобых!

## ***Discover***

У Голдберга тонкое чувство юмора и абсурда – и он прекрасно умеет объяснять, почему то, что мы воспринимаем как должное, например, равенство гравитационной и инерционной масс,

на самом деле очень странно и ни капли не очевидно... Эта книга немного похожа на лихие американские горки, построенные через толкиновскую Морию.

### ***New Scientist***

Надо же, какой, оказывается, интересной может быть тема симметрии! Физик Дэйв Голдберг увлекает читателя прямо в водоворот масштабных физических концепций, но при этом правит кораблем так ловко, что читатель не рискует утонуть.

### ***Nature***

Содержательная, не перегруженная математикой и необычайно увлекательная книга о концепции симметрии в физике... Книга Голдберга от начала и до конца написана доступно и с юмором... Свои объяснения автор щедро приправляет отсылками к популярной культуре – от «Доктора Кто» и Льюиса Кэрролла до «Angry Birds» – и благодаря прелестной манере изложения делает простыми даже самые сложные темы.

### ***Publishers Weekly***

Голдберг рассказывает о десятке самых фундаментальных качеств вселенной с неизменным юмором и при этом тонко, глубоко

и понятно.

### ***Kirkus Reviews***

Эта книга – веселое и увлекательное исследование основных физических понятий, в которую, помимо всего прочего, входит рассказ об одной из невоспетых героинь физики, об исполине, на чьих плечах стояли многие физики – об Эмми Нётер!

***Даника Маккеллар***, актриса, автор книги «*Math Doesn't Suck*»

Дэйв Голдберг устраивает настоящий луна-парк из увлекательных курьезов, головоломных парадоксов и тонкого юмора... Он великолепно разъясняет читателю, какова роль симметрии в физике, астрономии и математике. Прекрасный рассказ о прекрасной вселенной!

***Пол Хэлперн***, автор книги «*Edge of the Universe*»

Не оторваться! Эта книга – настоящий подарок любому читателю, которому любопытно узнать обо всех диковинах нашей чудесной вселенной. Если бы фундаментальные понятия и законы физики преподавались в школах так понятно и весело, как рассказывает о них Дэйв Голдберг в своей книге, нам гораздо лучше удавалось бы привлекать в науку молодежь.

***Приямвада Натараян***, председатель отделений физики и астрономии Женского преподавательского

Эта книга почти так же масштабна по тематике, как и физическая вселенная, о которой она так замечательно повествует. Но главное, пожалуй, то, что Голдберг подробно пишет о недооцененных заслугах Эмми Нётер. Ее теорема, согласно которой каждой симметрии соответствует сохраняющаяся величина, объединяет самые разные области физики, а Голдберг объясняет, как и почему.

**Джон Аллен Паулос**, преподаватель математики в Университете Темпл, автор книги «*Innumeracy*»

Дэйв Голдберг рассказывает о том, как симметрия формирует вселенную, с таким мастерством, что читать его книгу – сплошное удовольствие. От его рассказов – от «коана о каонах» и муравьиного царства до суеты вокруг бозона Хиггса – невозможно оторваться, и при этом они необычайно познавательны.

**Дж. Ричард Готт**, преподаватель астрофизики в Принстонском университете

Читать эту книгу – все равно что слушать лекцию самого замечательного преподавателя физики на свете! Голдберг рассказывает о физике все, что вы хотели знать, но стеснялись спросить, например, можно ли построить «Тардис», или что будет, если

Землю засосет в черную дыру. Обязательное чтение для каждого, кто хочет понять природу вселенной – и при этом посмеяться!

**Аннали Ньюиц**, редактор и оператор поля искажения времени на сайте <http://i09.com>

*Посвящается Эмили, Уилле и Лили – моя жизнь, любовь и вдохновение*

*Следует помнить, что то, что мы наблюдаем – это не природа как таковая, а природа, подвергнутая нашему методу задавать вопросы.*

**Вернер Гейзенберг**

# **Введение**

## **В котором я рассказываю, что да как, поэтому его лучше не пролистывать**

Почему на свете есть что-то, а не ничего? Почему будущее не такое, как прошлое? Почему серьезному человеку приходят в голову подобные вопросы?

Когда говоришь о популярной науке, попадаешь в этакый удамой скептицизм посвященного. Почитаешь все эти твиты и блоги – и складывается впечатление, будто теория относительности – не более чем досужая болтовня какого-то пижона на вечеринке, а не одна из самых удачных физических теорий в истории человечества, которая вот уже сто лет выдерживает все экспериментальные и наблюдательные проверки.

С точки зрения непосвященного, физика что-то уж больно перегружена всякими законами и формулами. Неужели нельзя попроще? Да и сами физики зачастую упиваются отстраненной сложностью своих конструкций. Когда сто лет назад сэра Артура Эддингтона спросили, правда ли, что общую теорию относитель-

ности Эйнштейна понимают всего три человека в мире, он задумался, а потом небрежно заметил: «Пытаюсь понять, кто же третий». Сегодня теория относительности входит в стандартный арсенал каждого физика, ее изо дня в день преподают вчерашним, а то и сегодняшним школьникам. Так что пора отказаться от высокомерной мысли, что понимание тайн мироздания доступно лишь гениям.

Глубокие озарения, касающиеся устройства нашего мира, почти никогда не были результатом изобретения новой формулы, будь ты Эддингтон или Эйнштейн. Наоборот, прорывы почти всегда происходят тогда, когда мы понимаем, что раньше мы думали, будто это разные вещи, а на самом деле это одно и то же. Чтобы понять, как все устроено, надо разобраться в симметрии.

Великий физик XX века, нобелевский лауреат Ричард Фейнман<sup>1</sup> уподобил мир физики игре в шахматы. Шахматы – игра, полная симметрии. Поверни доску на пол-оборота – она будет выглядеть точно так же, как и в начале. Фигуры на одной стороне, за исключением цвета, – почти что идеальное зеркальное отра-

---

<sup>1</sup> Лучше, чем прочитать «Фейнмановские лекции по физике» – только их прослушать. Цитата взята из аудиозаписи лекции, которую Фейнман прочитал в Калифорнийском Технологическом институте. Вообще-то он собирался читать лекции первокурсникам, однако к концу семестра все места, судя по всему, заняли его коллеги.

жение фигур на другой. Даже правила игры обладают симметрией. Вот как говорит об этом Фейнман:

По правилам, слон движется по шахматной доске только по диагонали. Можно сделать вывод, что сколько бы ходов ни миновало, определенный слон всегда останется на белом поле... Так и будет, причем довольно долго – но вдруг мы обнаруживаем, что слон оказался на черном поле (на самом-то деле произошло вот что: за это время слона съели, но одна из пешек дошла до последнего ряда и стала слоном на черном поле). Так и с физикой. У нас есть закон, который долго-долго действует универсально, даже когда мы не можем отследить все подробности, а потом наступает момент, когда мы можем открыть **новый закон**.

Понаблюдайте за игрой еще несколько раз – и вас внезапно осенит, что слон остается на полях одного и того же цвета именно потому, что ходит только по диагонали. Закон сохранения цвета обычно действует, однако более глубокий закон требует более глубокого объяснения.

Симметрия в природе проявляется практически везде – даже если она ничем не примечательна или даже очевидна и банальна. Крылья бабочки – идеальное отражение друг друга. Функции их идентичны, однако я бы очень сильно пожалел бедняж-

ку-бабочку с двумя левыми или двумя правыми крыльями – она бы беспомощно летала по кругу. Симметрия и асимметрия в природе, как правило, вынуждены соревноваться друг с другом. В конечном итоге симметрия – инструмент, при помощи которого мы не просто формулируем законы, но и разбираемся, почему они действуют.

Скажем, пространство и время совсем не так различны, как может показаться. Они словно правое и левое крылья бабочки. Подобие между ними и легло в основу специальной теории относительности – и породило самую знаменитую формулу во всей физике. По всей видимости, законы физики не меняются со временем – эта симметрия позволяет сделать вывод о сохранении энергии. И это тоже хорошо: именно благодаря сохранению энергии наша гигантская батарейка – Солнце – умудряется питать всю жизнь на Земле.

Для многих из нас (ну ладно, для физиков) законы симметрии, обнаруживаемые при изучении физической вселенной, столь же прекрасны, что и симметрия бриллианта, снежинки или идеализированная эстетика совершенно симметричного человеческого лица.

Об этом замечательно пишет математик Маркус дю Сотой:

Лишь самые приспособленные, самые здоровые растения обладают запасом энергии, который позволяет им соблюдать равновесие при создании своей формы. Симметричный цветок превосходит асимметричные, и это отражается в том, что он производит больше нектара и в этом нектаре больше содержание сахара. Симметрия сладка на вкус.

Задачи, которые ставит перед нами симметрия, несказанно радуют наш ум. Американские кроссворды, как правило, представляют собой узор из черных и белых квадратиков, который не меняется, если повернуть всю картинку на пол-оборота или посмотреть на нее в зеркало. На симметрии построены и многие шедевры живописи и архитектуры – пирамиды, Эйфелева башня, Тадж-Махал.

Стоит обыскать задворки сознания – и наверняка вспомнишь пять платоновых тел. Правильных многогранников с одинаковыми гранями всего пять: это тетраэдр (четыре грани), куб (шесть), октаэдр (восемь), додекаэдр (двенадцать) и икосаэдр (двадцать). Какой-нибудь ученый зануда, например, я, с нежностью вспомнит детство и поймет, что именно так выглядели кости в наборе для игры в «Dungeons & Dragons».<sup>2</sup>

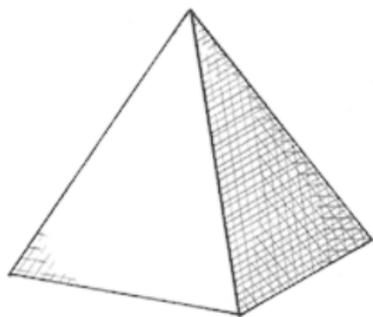
---

<sup>2</sup> Обладатели черного пояса по занудству укажут, что я забыл упомянуть десятигранную кость. Так вот, знайте, что десятигранник – это

---

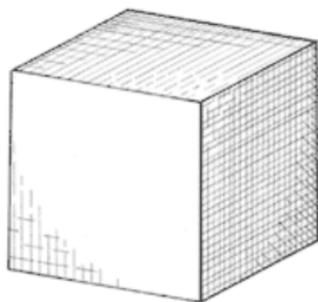
не платоново тело. Он принадлежит к классу антибипирамид и называется еще пентагональным трапецоэдром.

# PLATONIC SOLIDS



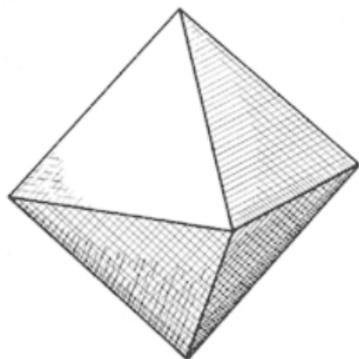
**TETRAHEDRON**

*4 faces - 4 vertices*



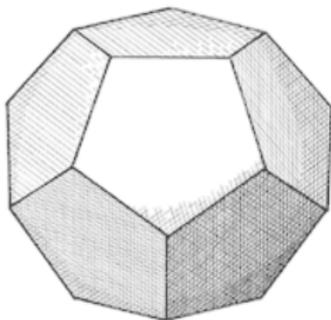
**CUBE**

*6 faces - 8 vertices*



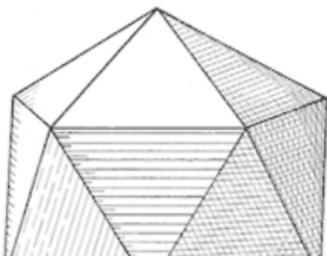
**OCTAHEDRON**

*8 faces - 6 vertices*



**DODECAHEDRON**

*12 faces - 20 vertices*

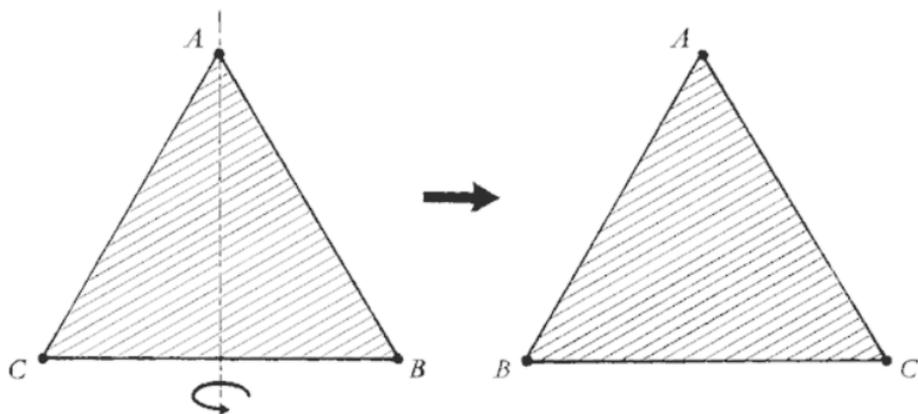
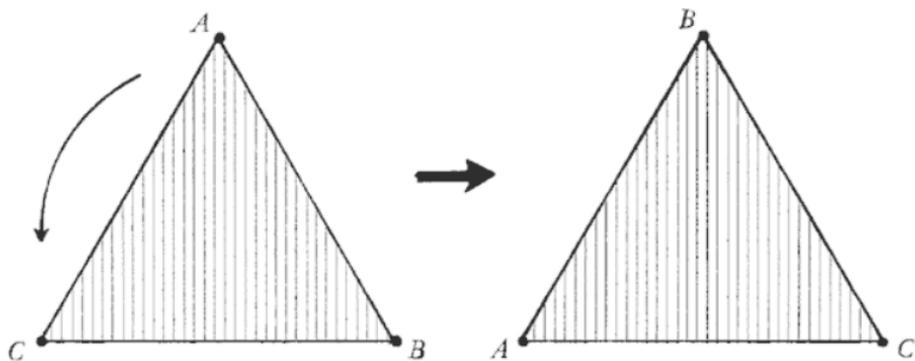


Иногда, в повседневном общении, слово «симметрия» относится просто к тому, как предметы «соответствуют» друг другу или «отражают» друг друга, но на самом деле у этого понятия, конечно, есть точное определение. Формулировка, на которую мы будем опираться на страницах этой книги, принадлежит математику Герману Вейлю:

Объект называется симметричным, если с ним можно произвести какие-то действия, и после этого он будет выглядеть так же, как раньше.

Рассмотрим равносторонний треугольник. С этим треугольником можно вытворять все что угодно – а он все равно останется совершенно таким же, как раньше. Можно повернуть его на треть оборота – и он будет выглядеть как прежде. А можно посмотреть на него в зеркало – и отражение будет точно таким же, как оригинал.

### ***Равносторонний треугольник***



Круг – идеальный симметричный объект. В отличие от треугольников, которые выглядят как прежде, только если повернуть их на определенный угол, круг можно вращать как хочешь, и он останется прежним. Не хотелось бы втолковывать очевидное, однако именно по этому принципу работает колесо.

Задолго до того, как мы поняли, как движутся пла-

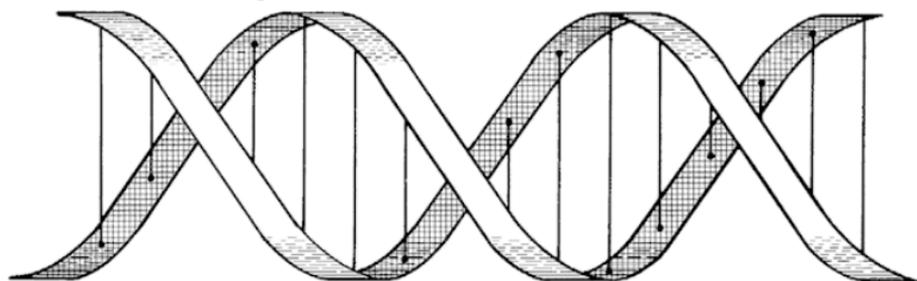
неты, Аристотель предположил, что их орбиты должны быть круглыми – именно из-за «совершенства» круга как симметричной формы. Аристотель заблуждался – и ничего удивительного: он заблуждался почти во всем, что касается физического мира.

Велик соблазн, высмеивая древних, погрязнуть в сладостном самодовольстве, однако Аристотель был прав в одном, но очень важном. Хотя планеты на самом деле вращаются вокруг Солнца по эллипсам, гравитационная сила, влекущая их к Солнцу, одинакова по всем направлениям. Гравитация симметрична. Из этого предположения и остроумной догадки о том, как гравитация ослабляется с расстоянием, сэр Исаак Ньютон сделал верный вывод о движении планет. В частности, поэтому вам так хорошо знакомо это имя, хотя причин тому множество. Фигуры, которые выглядят совсем не так идеально, как круг – эллиптические орбиты планет – это следствие гораздо более глубокой симметрии.

Симметрии указывают нам на подлинные принципы природы. Никто не мог понять, как устроен механизм наследственности, пока Розалинда Франклин не сделала рентгеновский снимок ДНК, который позволил Джеймсу Уотсону и Фрэнсису Крику открыть двойную спиральную структуру. А эта структура, состоящая из двух взаимодополняющих спиральных ни-

тей, позволила нам разобраться в методе копирования и наследования.

## *Двойная спираль ДНК*



Если вы вращаетесь в кругах, совершенно оторванных от жизни ученых чудаков, то, вероятно, слышали, как кто-нибудь из них называет ту или иную теорию «естественной» или «красивой». Обычно это означает, что предположение, на котором основана теория, настолько просто, что просто обязано быть верным. Иными словами, начав с очень простого правила, можно описать всевозможные сложные системы, например, гравитацию вокруг черных дыр или фундаментальные законы природы.

Это книга о симметрии, о том, как она проявляется в природе, как направляет нашу интуицию и как вылезает там, где ее не ждешь. Наиболее сжато это выразил нобелевский лауреат Фил Андерсон:

Будет лишь небольшим преувеличением сказать, что физика – это изучение симметрии.

Иногда симметрия так очевидна, что кажется совершенно банальной – однако приводит к невероятно контринтуитивным результатам. Когда катаешься на американских горках, организм не в состоянии различить, что вжимает его в сиденье – гравитация или ускорение вагонетки: ощущается это одинаково. Когда Эйнштейн предположил, что «ощущается одинаково» означает «и есть одно и то же», то вывел законы, по которым действует гравитация, а впоследствии это привело к гипотезе о существовании черных дыр.

Или, скажем, то обстоятельство, что можно поменять местами две частицы одинакового типа, неизбежно приводит к пониманию того, какая участь ожидает наше Солнце, и к загадочному принципу запрета Паули, а в конечном итоге – к функционированию нейтронных звезд и всей химии на свете.

А вот течение времени, с другой стороны, кажется столь же очевидно *асимметричным*. Прошлое отличается от будущего, это уж точно. Однако, как ни странно, законы физики ничего не знают об оси времени – им забыли о ней сказать. На микроскопическом уровне практически любой мыслимый эксперимент замечательно идет и туда, и обратно.

Тут легко поддаться стремлению обобщать и предположить, будто все на свете симметрично. Я с вами, читатель, незнаком и поэтому готов делать самые оскорбительные предположения. В старших классах или в институте вы хотя бы раз участвовали в мозголомной беседе на тему «А вдруг, ребята, наша вселенная – всего лишь атом в какой-то огромной-преогромной вселенной?»

Успели ли вы повзрослеть с тех пор? Признайтесь, вы прекрасно знаете, про что фильм «Люди в черном», и с нежностью вспоминаете, как в детстве читали «Слон Хортон слышит кого-то» – однако даже сейчас невольно задумываетесь, не существует ли где-нибудь миниатюрная вселенная, выходящая далеко за рамки нашего восприятия.

Нет, дружище, ответ отрицательный – но тут следует задаться несколько более глубоким вопросом: а почему?

Если можно что-то увеличить или уменьшить, не меняя его, значит, перед нами определенного рода симметрия. Те из вас, кто читал «Гулливера», вспомнят, наверное, что стоило нам повстречаться с лилипутами<sup>3</sup>, как Джонатан Свифт пускается в длинней-

---

<sup>3</sup> Лилипуты по всем измерениям меньше Гулливера в двенадцать раз. Умножать и делить на десять гораздо проще, поэтому я для простоты картины решил все округлять и упрощать. Можете не благодарить.

шие подробнейшие рассуждения обо всем, что следует из разницы в росте между Гулливером и лилипутами, а затем и между Гулливером и великанами-бробдингедами. Тут Свифт явно перестарался – он пишет соотношении размеров всего на свете, от длины шага до количества местных животных, которое требовалось Гулливеру, чтобы насытиться.

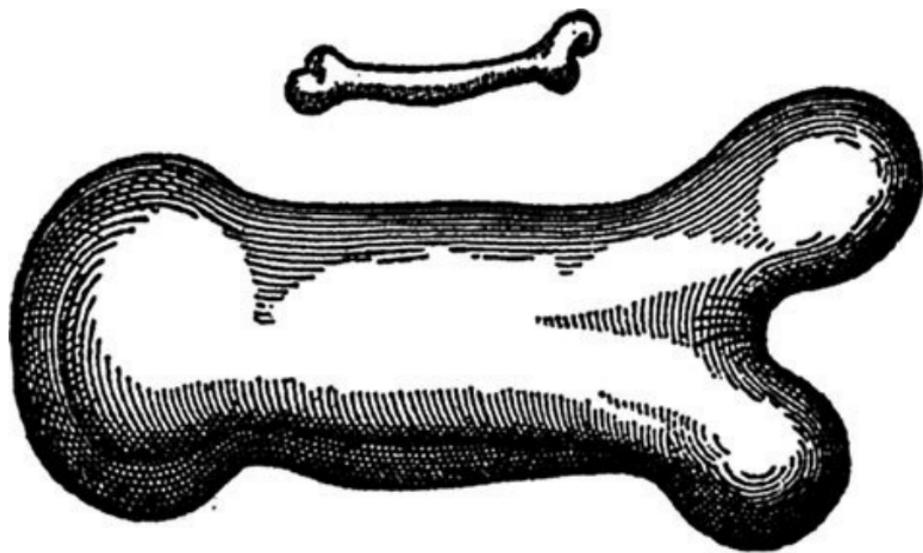
Однако уже во времена Свифта никто не сомневался, что существование таких стран и народов (про говорящих лошадей вообще молчу) противоречит законам физики. Веком раньше Галилео Галилей написал «Две новые науки», где исследовал возможность существования великанов с научной точки зрения<sup>4</sup>. Всласть порассуждав, он сделал вывод, что предположение ложно – лишив таким образом грядущие поколения возможности повеселиться. Беда в том, что кость, увеличиваясь в длину в два раза, становится тяжелее в восемь раз, а ее поверхность увеличивается всего в четыре раза. Так что она сломается, не выдержав собственного веса. Вот как пишет об этом сам Галилей:

Дуб высотой двести локтей не смог бы удержать собственные ветви, будь они распределены так же, как и на дереве обычной высоты; и природа не может породить лошадь

---

<sup>4</sup> Достойное применение его времени и талантов, нечего сказать.

в двадцать раз больше обычной лошади или великана в десять раз выше обычного человека, разве что чудом или сильно изменив пропорции его тела, в особенности костей, которые должны быть значительно увеличены по сравнению с обычными.



Далее Галилей любезно приводит наброски великанских частей на радость читателю и завершает повествование прелестным страшноватым рисунком.

Потому-то маленькая собачка может иногда нести на спине двух-трех собачек своего размера, однако, полагаю, конь не сможет нести даже одного такого же коня.

Вот почему Человек-паук так скверно придуман<sup>5</sup>. Он не мог бы обладать пропорционально увеличенной силой паука. Иначе он был бы такого массивного сложения, что его не пришлось бы даже давить. Гравитация все сделала бы сама. Как пишет биолог Дж. Б. С. Холдейн в своем эссе «О том, как важно быть нужного размера» (J. B. S. Haldane, «*On Being the Right Size*»):

Вот почему насекомое не боится гравитации – оно может упасть и остаться целым и невредимым, оно может прицепиться к потолку, затратив на удивление мало усилий... Однако есть на свете сила, которой насекомое страшится так же, как млекопитающее – гравитации. Это поверхностное натяжение... Насекомое, которое решило попить, находится в такой же опасности, как и человек, свесившийся с края бездонной пропасти в поисках пропитания. Стоит насекомому попасться в сети поверхностного натяжения воды – то есть попросту намочнуть – и оно, скорее всего, не сможет выбраться и утонет.

На самом деле проблема куда глубже, чем прочность великаньих костей на разрыв и пропорциональ-

---

<sup>5</sup> Давно доказано, что если говорить с ученым достаточно долго, он испортит все что угодно, докопавшись до сути. Вот почему нам так часто уготованы одинокие вечера.

ная сила насекомых. Все предметы, сопоставимые с размерами человека, вроде бы можно пропорционально уменьшать и увеличивать без особого ущерба – шестиметровый робот-убийца, судя по всему, при совершенно том же устройстве, что и его трехметровая модель, будет работать вдвое лучше, – но если перейти на масштабы атомов и молекул, все прогнозы перестают оправдываться. Мир атомов – это еще и мир квантовой механики, а это означает, что конкретность нашего макроскопического существования внезапно сменяется неопределенностью.

Иначе говоря, сам акт масштабирования не имеет отношения к симметрии природы. Карта космической сети галактик и правда слегка смахивает на изображение нейронов, но это не какая-то великая вселенская симметрия. Это совпадение. Я мог бы и дальше описывать разные случаи симметрии один за другим, но, надеюсь, в общем и целом объяснил, что к чему. Одни изменения имеют значение, другие нет. В этой книге я решил применить вот какой подход: каждую главу посвятить отдельному вопросу, на который, как потом выяснится, есть ответ, пусть и косвенный, и дают его фундаментальные симметрии вселенной.

А с другой стороны – даже правая рука у человека отличается от левой. Одна из главных загадок, над которыми размышляют люди, состоит в том, что в ка-

ком-то смысле вселенная не симметрична. Сердце у вас в левой стороне груди, будущее не такое же, как прошлое, вы состоите из вещества, а не из анти-вещества. Так что эта книга – это книга еще и о нарушенной и несовершенной симметрии, возможно, даже в большей степени, чем о симметрии идеальной. Народная мудрость гласит, что персидский ковер совершенен в своем несовершенстве и идеален в своей неидеальности. Узор на настоящих, традиционных коврах чуть-чуть неточен, и нарушение симметрии придает всему изделию больше индивидуальности. Точно так же происходит и с законами природы – и это прекрасно: идеально симметричная вселенная была бы чудовищно скучной. А нашу вселенную скучной не назовешь.

Вселенная, которую мы видим в зеркале заднего вида, ближе, чем кажется, и это все меняет. Но давайте не будем смотреть назад – мы ведь отправляемся в долгую экскурсию по вселенной. А нашим экскурсоводом будет симметрия, зато когда она нарушится, нам будет о чем написать домой.

# **Глава первая. Антивещество**

## **Из которой мы узнаем, почему на свете есть что-то, а не ничего**

Смотреть научно-фантастические фильмы в надежде узнать что-то новое о науке – затея в целом бессмысленная. В числе прочего вы получите очень искаженное представление, например, о том, как грохочут в космосе взрывы (они бесшумные), как просто развить сверхсветовую скорость (а никак), как много в космосе англоговорящих и не вполне гуманоидных, но все равно дьявольски привлекательных инопланетянок (они все замужем). Однако всяческие «Звездные войны» и «Звездные пути» внушили нам одну очень правильную идею: с антивеществом шутки плохи.

В антивеществе скрыта такая потрясающая мощь, что устоять перед соблазном просто невозможно, и если писатель-фантаст хочет добавить в свое варено «настоящей физики», он почти всегда тянется за щепоткой антивещества: оно придаст весу в глазах читателей. Двигатель космического корабля «Энтерпрайз» работал на взаимодействии вещества и антивещества. Айзек Азимов снабдил своих роботов пози-

тронным мозгом – и превратил позитрон, частицу антивещества, в научно-фантастический макгаффин<sup>6</sup>.

Даже в «Ангелах и демонах» Дэна Брауна – книге, которую едва ли можно причислить к настоящей научной фантастике, – антивещество служит своего рода адской машиной. Злодеи крадут полграмма антивещества – и этого количества хватит, чтобы устроить взрыв, по мощности сопоставимый с первыми ядерными бомбами. Не считая того, что Дэн Браун ошибся в арифметических расчетах в два раза<sup>7</sup>, совершенно не разобрался, что на самом деле происходит в ускорителе частиц, и промахнулся примерно в триллион раз, когда прикидывал, сколько антивещества можно хранить и перевозить, с научной частью у него все в порядке.

Выходит, мы постоянно сталкиваемся с антивеществом – однако совершенно неправильно понимаем, что это такое. Эта субстанция – отнюдь не неостановимый убийца, к которому вы за столько лет привыкли относиться с недоверием. Если антивещество не трогать, оно ведет себя довольно мирно. Антивещество –

---

<sup>6</sup> В сценарном деле макгаффином называют некий предмет, вокруг которого строится фабула – например, Грааль в Артуровском цикле или двенадцать стульев в «Двенадцати стульях» Ильфа и Петрова. – *Прим. перев.*

<sup>7</sup> Когда антивещество делает «Трах-бах», исчезает такое же количество вещества. Об этом Браун, очевидно, позабыл.

совсем как обычное вещество, которое вы знаете и любите – например, оно обладает той же массой, – просто наоборот: противоположный заряд и противоположное название. Жареным запахнет, только если смешать антивещество с обычным веществом.

Мало того что антивещество ничем не экзотичнее обычного вещества, оно еще и выглядит и ведет себя совершенно так же практически во всех важных ситуациях. Если бы все частицы во вселенной вдруг оказались заменены своей антиверсией, вы бы ничего не заметили. Проще говоря, в том, как законы физики обращаются с веществом и антивеществом, тоже есть симметрия, и все же они должны быть чуточку разными: ведь и вы, и все ваши знакомые сделаны не из антивещества, а из обычного вещества.

Нам нравится думать, что случайностей не бывает, что есть какая-то глобальная причина, по которой вы не сидите в данный момент в комнате, битком набитой антилюдьми. Чтобы разобраться, в чем тут дело, мы углубимся в прошлое.

## **Да ну их, антилюдей, сам-то я откуда взялся?**

Объяснить, откуда что-то взялось, бывает непросто. Не всегда удастся аккуратно списать все на укус радиоактивного паука, взрыв родной планеты или даже оживление трупа (науки ради, сами понимаете). История нашего собственного происхождения весьма заковыриста, однако вам будет приятно узнать, что мы (совсем как Халк) в конечном итоге – результат воздействия гамма-излучения. Это долгая история.

Физика пока не может ответить даже на вопрос, откуда взялась сама вселенная, зато мы можем многое сказать о том, что было после этого. Рискуя вызвать экзистенциальный кризис, мы можем по крайней мере попытаться ответить на один из величайших вопросов философии, прямо-таки большую шишку из ее пантеона: «Почему на свете есть что-то, а не ничего?»

Вопрос не такой тупой, как может показаться. На основании всего того, что мы наблюдаем в лаборатории, вы существовать не должны. Ничего личного. Я тоже не должен существовать, а также Солнце, галактика Млечный Путь и кино «Сумерки» (по великому множеству причин).

Чтобы понять, почему вы не должны существовать, нам нужно заглянуть в зеркальные вселенные, вселенные из антивещества и нашу собственную вселенную на мельчайшем масштабе. Только на мельчайшем масштабе проявляется разница между веществом и антивеществом, и даже тогда она далеко не очевидна.

Вселенная на мельчайшем масштабе совсем *другая*<sup>8</sup>. Все, что мы видим, состоит из молекул, самые маленькие из которых размером около миллионной доли миллиметра. Если сравнить это с величинами человеческого масштаба, то человеческий волос имеет толщину примерно в сто тысяч молекул. Да, молекулы *очень маленькие*, но какими бы они ни были маленькими, они состоят из частиц еще меньших. И это тоже хорошо – если мы заинтересованы в том, чтобы найти в мире хоть какой-то порядок. По данным Королевского химического общества, мы знаем около 20 миллионов разных видов молекул, а новые соединения открывают так часто, что нечего даже и пытаться назвать точное число. Если бы мы не понимали, что молекулы состоят из чего-то еще меньшего, мы бы погрязли в их перечислении<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Надеюсь, вы не пропустили введение. Там много дельного.

<sup>9</sup> Эрнест Резерфорд, который сделал, прямо скажем, больше других для объяснения структуры вещества, без обиняков заявил: «Все науки

К счастью для вселенского порядка, если брать все меньший и меньший масштаб, появляются новые структуры. На масштабе меньше десяти миллиардных метра мы начинаем различать отдельные атомы. Химических элементов нам известно лишь 118, и большинство из них в природе не встречается вообще или встречается лишь в ничтожных количествах.

То, что мы видим на макроскопическом масштабе, ничуть не помогает подготовиться к тому, с чем мы сталкиваемся, когда доходим до размера отдельных атомов, потому что именно тогда на сцену выходит квантовая механика. Говорить о квантовой природе реальности я пока не стану, скажу лишь одно: там царит малоприятная неопределенность. Пока что можно не обращать на нее внимания, однако чуть позже придется залезть в это болото по уши.

Даже если не знать в точности, что представляют собой атомы, вполне можно добиться от них толку. Именно это открыл русский химик Дмитрий Менделеев в XIX веке<sup>10</sup>. С его главным достижением вы, ско-

---

делятся на физику и коллекционирование марок». Как ему, наверное, было обидно получить в 1908 году Нобелевскую премию *по химии!*

<sup>10</sup> Менделеев – первый из многих героев этой книги, у кого практически отняли Нобелевскую премию. В его случае премию по химии в 1907 году он не получил из-за политических интриг – несмотря на то, что периодическая таблица лежит в основе всей современной химии и физики атомов.

рее всего, знакомы, если хоть раз в жизни забредали в школьный кабинет химии или физики. Менделеев изобрел периодическую таблицу.

Это не просто длинный список. Менделеев доказал, что элементы в каждом столбце таблицы обладают очень похожими химическими свойствами. Например, медь, золото и серебро находятся в одном столбце, и все они металлы с очень большой проводимостью. Заполнив свободные места, Менделеев сумел предсказать свойства элементов до того, как их удалось открыть в лаборатории!

Сама идея о том, что атомы составляют невидимую основу вещества, уже была сформулирована две с половиной тысячи лет назад, хотя и в довольно примитивном виде. Левкипп, Демокрит и древнегреческие атомисты высказали эту идею в V веке до н. э., и можно с легкостью предположить, что мы последние две тысячи лет потратили на то, чтобы она до нас наконец дошла. Лично я считаю, что древним многовато чести.

В целом первые атомисты говорили лишь о том, что бесконечно делить вещество нельзя. Они не представляли себе, как малы атомы, какая у них структура и что их можно делить дальше (несмотря на то, что само слово «атом» буквально означает «неделимый»).

Мы начали хоть сколько-нибудь понимать,

что представляют собой атомы, лишь в последние двести лет, и кульминацией этого стал блистательный анализ броуновского движения, который сделал Эйнштейн в 1905 году. За 80 лет до этого ботаник Роберт Броун изучил под микроскопом пыльцу, взболтанную в жидкости. Броун отметил, что сколько он ни дожидался, когда картина успокоится, частички пыльцы продолжали беспорядочно суетиться.

Эйнштейн абсолютно правильно предположил, что отдельные молекулы постоянно толкали частички пыльцы в разные стороны случайным образом – а из этого он сумел сделать вывод, что атомы существуют в реальности, и даже оценить их размер.

Уже одного убедительного доказательства, что атомы должны существовать, было бы более чем достаточно, чтобы сделать Эйнштейна одним из величайших ученых XX века, однако считается, что это всего лишь третье по важности из открытий, которые он сделал на протяжении одного года. Произошло настоящее чудо, пожалуй, еще не было в истории, чтобы гениальные открытия следовали одно за другим с такой частотой, и недаром 1905 год называют «Чудесным годом» в биографии Эйнштейна – именно тогда была опубликована череда статей, в которых ученый не только доказал, что атомы существуют, но и продемонстрировал, что свет состоит из частиц (за что

и получил Нобелевскую премию в 1921 году), а также предложил на суд научной общественности пустячок под названием «теория относительности», благодаря которому вы, скорее всего, и знаете его имя.

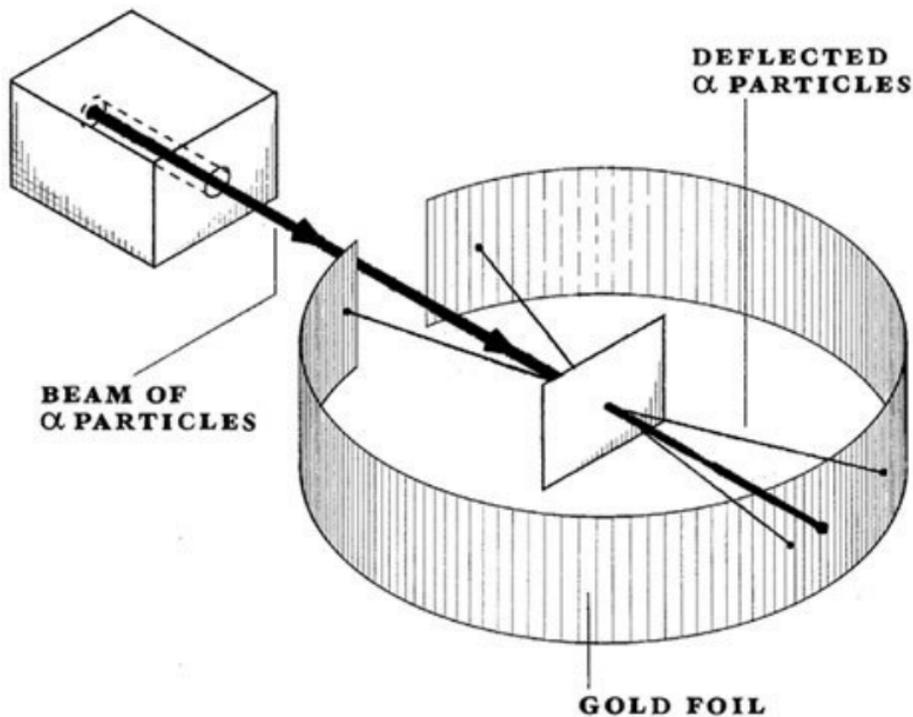
Поначалу может показаться, что элементарные частицы – это своего рода платоновская абстракция. Они фундаментальны и невидимы. У них нет ни формы, ни размера, ни цвета – словом, никаких макроскопических качеств. Все частицы одного типа идентичны всем другим частицам того же типа и неотличимы от них. То есть кто видел один электрон, тот знает все об электронах – буквально.

Знать, что атомы существуют, – это не все равно, что знать, каковы их свойства, и даже фундаментальные это частицы или нет. (Пункт А. Нет). Чтобы отгадать эту загадку, обратимся к Эрнесту Резерфорду, который в 1911 году занимался тем, что пулялся альфа-частицами (это такое научно-фантастическое по духу название, а теперь-то мы знаем, что на самом деле альфа-частицы – это ядра гелия) в листок золотой фольги.

Нет необходимости распространяться о том, в какие тупики заходила физика, пока мы не обзавелись моделью, которой пользуемся сегодня (неплохой, но не совершенной), однако до Резерфорда никто не имел ни малейшего представления о структу-

ре атома. Господствовала идея, что атом заполнен положительно заряженным «пудингом», нашпигованным «сливами» (электронами)<sup>11</sup>.

## *Резерфордовское рассеяние*



Вероятно, электроны вам уже знакомы. Эти эле-

---

<sup>11</sup> По всей видимости, на рубеже XIX–XX веков сливовый пудинг считался настоящим деликатесом. Лично меня от одного названия с души воротит.

ментарные частицы были открыты первыми – еще в 1897 году, когда Дж. Дж. Томсон (пренебрежительно) назвал их «тельцами». Кроме того, их удивительно легко раздобыть: стоит взять кусок металла, нагреть его, и они так и полетят в разные стороны! А если вам еще не разрешают самостоятельно зажигать плитку, наденьте шерстяные носки и прикоснитесь к чему-нибудь металлическому. Что, больно? Наука требует жертв (и электроны тоже)!

Если бы «модель сливового пудинга» оказалась верной, траектории альфа-частиц Резерфорда лишь слегка изменялись бы после вылета из пудинга. Между тем большинство альфа-частиц проходили сквозь фольгу как ни в чем не бывало, однако некоторые из них отлетали обратно, как будто налетали на что-то твердое. Вот как писал об этом сам Резерфорд:

Со мной никогда в жизни не происходило событий столь невероятных. Так же невероятно было бы, если бы вы выстрелили пятнадцатидюймовым снарядом в папиросную бумагу, а он отскочил бы в вас обратно!

Большинство альфа-частиц проходили сквозь фольгу. Лишь очень редко случалось так, что частица налетала на ядро золота. Иначе говоря, колоссальное большинство массы атома было сосредоточено в крошечной доле общего объема. Сливы налицо, а пудинг

га нет.

Наверное, вы думаете, что ваша рука плотная и набита веществом, однако по большей части она состоит из пустоты. Нужно увеличить изображение в 100 000 раз по сравнению с размером самого атома (до  $10^{-15}$  метра) – и лишь тогда мы увидим ядра атомов, и лишь тогда поймем, как пусто и никчемно наше существование.

Ядро составляет около 99,95 % массы атома, однако занимает всего лишь примерно одну квадрильонную общего объема. Это как будто скромное офисное здание по сравнению со всем земным шаром. Вероятность попадания альфа-частицы в ядро в эксперименте Резерфорда примерно эквивалентна вероятности случайного попадания метеорита в Белый дом<sup>12</sup>. Большинство угодит мимо цели.

А мы можем еще сильнее углубиться в недра ядра – и там мы обнаружим протоны (положительно заряженные) и нейтроны (нейтральные, что явствует из названия). Количество протонов определяет, о каком именно химическом элементе идет речь. У водорода один протон, у гелия – два, у лития – три и т. д. Если вы забыли, который элемент какой, посмотрите в волшебную таблицу Менделеева. Нейтроны, со сво-

---

<sup>12</sup> Скорее всего, из фильмов о вторжении инопланетян вы почерпнули несколько искаженное представление о том, насколько это вероятно.

ей стороны, не влияют на химическую бухгалтерию – разные их количества обозначают лишь разные изотопы одного и того же элемента.

К тому же мы до сих пор пополняем свой арсенал новыми элементами. В 2006 году российские и американские ученые совместно открыли 118-й элемент унуноктий. Когда я говорю «открыли», то имею в виду, что они создали его в лаборатории, что в данном случае означает со всего размаху столкнуть кальций с калифорнием (который тоже сначала нужно сделать в лаборатории). В результате получилось всего три атома, и просуществовали они ничтожную долю мгновения. Беда в том, что массивные ядра вроде унуноктия (почти в 300 раз тяжелее обычного водорода) обычно бывают крайне нестабильны. Они стремятся как можно скорее распасться на более легкие частицы. Унуноктий живет всего лишь около миллисекунды, а следовательно, едва ли удастся обнаружить его залежи.

Радиоактивный распад – всего лишь привычный факт в жизни субатомного мира, и эти слова, вероятно, приводят на ум малоприятные вещества вроде плутония и урана. А чтобы понять, почему эти элементы такие неприятные, мы оторвемся от микроскопа и сделаем краткое отступление в сторону самых знаменитых физических формул.

# Как сделать что-то из ничего?

Даже если вы терпеть не могли школьные уроки физики, даже если у вас от математики по всему телу идут волдыри, я готов спорить, что эту формулу вы уже знаете – хотя бы понаслышке:

$$E = mc^2$$

Помните Чудесный год Эйнштейна – 1905 год? Это уравнение – жемчужина его специальной теории относительности, формула, лежащая в основе атомной энергетики и определяющая жизнь нашего Солнца. А также поведение вещества, из которого вы состоите.

Что такое масса и энергия (соответственно  $m$  и  $E$ ), всем более или менее понятно. Соединяет их  $c$ , скорость света и абсолютный предел скорости во вселенной.

Честно говоря, название «скорость света» не очень-то удачное, поскольку со скоростью  $c$  перемещается любая частица, лишенная массы. В том числе, конечно, и фотон, частица света, но кроме фотона, есть еще по крайней мере несколько таких

частиц. Например, глюоны – частицы, отвечающие за то, чтобы скреплять ядра из протонов.

У фотонов с глюонами уйма общего. Физической вселенной управляют четыре фундаментальные силы, и у каждой из них есть по крайней мере одна частица-переносчик, своего рода субатомный посредник. Вот как действуют эти силы. Работа частицы-переносчика – субатомный аналог передачи записочки на уроке физкультуры, и, например, для электромагнетизма фотоны служат посредниками, которые сообщают одинаковым зарядам, что им положено отталкиваться, а противоположным – притягиваться. Глюоны играют ту же роль в сильном ядерном взаимодействии – самой мощной из всех фундаментальных сил. На другом полюсе находится гравитация: как ни странно, вопреки нашему повседневному опыту, это самая слабая из фундаментальных сил, и частица-переносчик у нее то ли есть, то ли нет. Мы заранее называли ее гравитоном, поскольку было бы так красиво и элегантно, если бы гравитация была устроена так же, как и остальные три фундаментальные силы. Однако зарегистрировать гравитон нам пока не удалось.

Все эти частицы – фотоны, глюоны и гравитоны (если они существуют), лишены массы, а поэтому перемещаются со скоростью света. Поскольку вы, вероят-

но, состоите из массивных частиц, то навеки обречены перемещаться со скоростью меньше скорости света. Такова жизнь.

К счастью, в обыденной жизни соблюдать это ограничение не очень обременительно. Скорость света очень велика, примерно 300 000 километров в секунду или около миллиарда километров в час<sup>13</sup>. Земля перемещается со скоростью более 100 000 километров в час и обходит вокруг Солнца за год. Свету на такой же путь нужно всего лишь около 52 минут.

Уравнение Эйнштейна задает своего рода соотношение валютного курса массы и энергии. Вводишь какое-то количество массы, полностью уничтожаешь – и получаешь сколько-то энергии. Чтобы вы не думали, будто я задаром выдаю государственные тайны, поясню, что это легко сказать, но трудно сделать.

Для начала возьмите килограмм водорода, разогрейте примерно до 10 миллионов градусов по Кельвину<sup>14</sup> и плотно упакуйте. Готово! Вы восхитительны! Вы сделали себе ядерный реактор наподобие Солнца, способный превращать водород в гелий и некото-

---

<sup>13</sup> Обозначение  $c$  – это первая буква слова *celeritas*, что значит «проворство». Мне кажется, это некоторое преуменьшение.

<sup>14</sup> Шкала Кельвина начинается с абсолютного нуля, то есть  $c - 273^\circ \text{C}$  или  $- 460^\circ \text{F}$ . Комнатная температура – около 310 К, а на поверхности Солнца примерно 5800 К.

рые другие частицы, гораздо более легкие.

Когда термоядерный синтез закончится, у вас будет 993 грамма конечного продукта, в основном – пепел, оставшийся после ядерных реакций. Так вот, вся магия происходит с 7 «исчезнувшими» граммами. Они превращаются в чистую энергию, и хотя кажется, будто это достаточно скудные дивиденды, с так огромна, что в результате высвобождается колоссальное количество энергии. Даже если коэффициент превращения составляет 0,7 %, Солнце будет гореть<sup>15</sup> около 10 миллиардов лет. Подобное же солнце на угле проработало бы сущую малость – какие-то 10 тысяч лет.

Или возьмем радиоактивный распад. Кусок радия быстро начнет распадаться на элементы вроде радона и гелия, которые в сочетании заметно легче первоначального атома радия. Излишек превращается в высокоэнергичное рентгеновское излучение.

Мари Кюри, одна из первооткрывателей радиоактивности, на себе испытала все ее вредоносное воздействие. Подобная профессия чревата смертельными опасностями; в частности, близкий контакт с ма-

---

<sup>15</sup> Строгие ревнителы возразят против такого использования слова «гореть». Строго говоря, горение – это химический процесс, а термоядерный синтез – это совсем другое дело. Можете подавать на меня в суд.

териалами вроде радия губителен для здоровья. Мари Кюри умерла от апластической анемии, вызванной облучением, и весь ее архив и по сей день хранится в свинцовых коробках: бумаги так радиоактивны, что работать с ними опасно. На фотопленке, заложенной между страниц, проявились отпечатки пальцев Мари.

У формулы  $E = mc^2$  есть и обратная сторона. Можно производить энергию из массы – однако и энергия может создавать массу. Однако  $c^2$  – огромное число, а следовательно, много массы из энергии при обычных обстоятельствах не получишь. Но если у тебя есть достаточно энергии, можно творить поразительные вещи. Представьте себе, что какая-то особенно предприимчивая сверхцивилизация решила побыстрому создать много-много массы. Если покрыть всю Землю самыми производительными солнечными батареями, в принципе, можно создавать 2 кило вещества в секунду. И это будет соответствовать потреблению энергии примерно в 50 000 раз большему, чем потребляет сегодня все человечество<sup>16</sup>.

Мы можем и не дожидаться сверхцивилизации – на субатомном уровне энергия постоянно конвертируется в массу. Протоны и нейтроны – это «кирпичики»,

---

<sup>16</sup> Это я так рекламирую возобновляемые источники энергии. Ее там *очень много*.

из которых строится вещество, однако они, в свою очередь, тоже состоят из элементарных частиц – так называемых кварков, по три на штуку. Поразительно, но факт: если сложить массы кварков, получится лишь примерно 2 % массы протона. Остальные 98 % составляет колоссальная энергия, которая участвует в движении и взаимодействии кварков внутри протона.

Подведем итоги. Вы состоите из фундаментальных частиц, то есть почти полностью из пустоты, а те крохи, которые в этой пустоте попадают, совсем не так уж массивны. Такими они кажутся из-за эфемерной энергии. Частицы могут создаваться целиком и полностью из энергии и тут же распадаться. Вы – не просто куда больше, чем сумма своих частей, строго говоря, составляющие вас части – не более чем кучка спичек в водовороте пульсирующих и визжащих энергетических взаимодействий. Так-то!

## А где все антилюди?

Энергию можно применять для создания вещества «с нуля», однако одновременно создается и антивещество: своего рода побочный эффект. Я уже говорил, что у антивещества своя роль, но еще не объяснил, какая именно. Готовьтесь – вас совсем не ждет потрясение! У каждой частицы есть своя антиверсия, которая ведет себя практически так же, как и обычная частица, например, у нее такая же масса, – только с противоположным зарядом. Позитрон ведет себя точь-в#точь как электрон, только у электрона отрицательный заряд, а у позитрона, наоборот, положительный. Заряд у антипротона отрицательный, в противоположность положительному заряду протона, и т. д.

Самое, пожалуй, безумное во всей истории с антивеществом – то, что если бы у вас хватило ума – а у английского физика П. А. М. Дирака его, очевидно, хватило, – то вы предсказали бы ее существование еще до того, как ее открыли. В 1928 году Дирак вывел уравнения релятивистской квантовой механики. Да, суть ее так же заковыриста, как и название. Пропахав уравнения, Дирак отметил, что некоторые решения в них не учтены. Например, он обнаружил, что из этой теории естественным образом следует су-

ществование не только электронов, но и других частиц той же массы и с противоположным зарядом.

Согласно уравнению Дирака, у любой частицы вроде электрона должна быть античастица. Поначалу он сделал не совсем верные выводы. Например, позитрон в его представлениях был таков:

Электрон с **отрицательной энергией**, который движется во внешнем поле так, словно обладает положительным зарядом.

Дирак сам не знал, о чем говорят его уравнения. Если бы его первоначальные интуитивные догадки оказались верны, можно было бы, в сущности, генерировать бесконечную энергию, просто производя позитроны. Это все равно что вести бизнес, набирая бесконечные беспроцентные кредиты.

Но потом Дирак понял, как все обстоит на самом деле: позитроны – это просто обратная сторона электронов. Иначе говоря, судя по всему, существует глубокая симметрия вещества и еще не открытого антивещества.

Чтобы подтвердить существование этой глубинной симметрии мироздания, было мало только продраться сквозь математические дебри. В то время не было никаких экспериментальных свидетельств существования позитрона и прочих античастиц, вот почему все так обрадовались, когда вскоре, в 1932 году,

Карл Андерсон открыл позитроны в своей лаборатории при Калифорнийском технологическом институте. Иногда всякая запредельная математика все же связана с реальностью...

А реальность этого близнеца-перевертыша – античастицы – состоит в том, что хотя противоположности притягиваются, частицам и античастицам стоит от этого воздерживаться. Стоит электрону с позитроном вступить в контакт друг с другом – и тут же волшебная формула  $E = mc^2$  превращает их массу в огромное количество энергии.

Какую частицу мы назовем просто «обычной», а какую «анти», в принципе, все равно. В параллельной вселенной, которая полностью состоит из того, что мы называем антивеществом, антилюди наверняка называют свои атомы обычными, а мы для них «анти». И это как раз тот редкий случай, когда все правы – и мы, и они. Вопрос названия.

Я не хочу сказать, что в нашей вселенной *нет* антивещества. Антивещество непрерывно создается в недрах Солнца, которое рождает позитроны в виде побочного эффекта синтеза гелия из водорода. А поближе к дому мы можем наблюдать всевозможные экзотические античастицы в больших ускорителях вроде Большого Адронного Коллайдера, который расположен во Франции и Швейцарии.

В лабораторных условиях можно даже создавать антиверсии атомов. В 2002 году Европейская организация по ядерным исследованиям (ЦЕРН)<sup>17</sup> сумела создать и зарегистрировать буквально тысячи атомов антиводорода с точно такими же качествами, что и у обычного водорода. В 2011 году был побит рекорд массы античастицы: на Релятивистском коллайдере тяжелых ионов на Лонг-Айленде было создано первое ядро антигелия. Правда, античастицы быстро покидают этот мир. Они быстро распадаются или сталкиваются с обычными частицами и аннигилируют.

Итак, античастицы выглядят точно так же, как и обычные, однако одинаковы ли они *на самом деле*? Это наша первая официальная симметрия, поэтому я дам ей четкое определение, чтобы вы понимали, насколько это важно.

**C-симметрия**, она же **Зарядовое сопряжение**, состоит в том, что физические законы применимы к античастицам точно так же, как и к соответствующим обычным частицам.

И хотя мы даже дали этой симметрии особое название (C-симметрией она названа по первой букве сло-

---

<sup>17</sup> Эту организацию принято называть ЦЕРН (CERN) по первым буквам ее французского названия. Этим добрым людям мы обязаны и Большим Адронным Коллайдером.

ва «charge» – «заряд»), из нее не обязательно следует, что вещество и антивещество и в самом деле ведут себя в нашей вселенной одинаково. Такой вывод – это, скорее, обоснованная догадка.

Однако поскольку мы не в силах наслать такие чары, чтобы все частицы разом заменились на соответствующие античастицы, нам придется делать кое-какие умозрительные заключения, что и подведет нас к главной тайне вещества и антивещества.

В лаборатории – то есть во всех субатомных реакциях, которые мы так или иначе наблюдали, – невозможно создавать частицы, не создавая одновременно соответствующего числа античастиц. Неуловимые частицы вроде бозона Хиггса мы регистрируем, наблюдая не саму частицу, а ее распад на частицу и античастицу.

А обратная сторона медали такова, что если положить электрон и позитрон в кастрюлю и хорошенько размешать, то оба они будут уничтожены, и высвободится вся энергия, которую пообещал вам Эйнштейн. Именно это постоянно происходит в космическом вакууме. Частицы и античастицы создаются и уничтожаются, и это идеально согласованные процессы.

По крайней мере, сейчас именно это и происходит. Когда-то, в далеком прошлом, обычное вещество одерживало верх. Так было не только в нашем за-

холуственном уголке вселенной – похоже, так было везде. Важная, но еще не вполне осознанная задача современной космологии – разобраться, почему тогда была нарушена нынешняя С-симметрия вселенной, а для этого нам придется заглянуть в прошлое.

В 2001 году НАСА запустило космический аппарат WMAP – Зонд микроволновой анизотропии имени Уилкинсона. Как явствует из сокращенного названия, где ясно видно слово «*map*» – «карта», задачей аппарата было создать подробную карту реликтового микроволнового излучения, пережитка первых эпох существования вселенной.

Я уже говорил, что свет состоит из частиц под названием фотоны, однако уклонился от ответа на вопрос, чем фотоны отличаются друг от друга. Различия сводятся к энергии. Например, у синего света энергии в пересчете на отдельный фотон больше, чем у красного. При еще более низкой энергии, чем у красного света, за пределами чувствительности глаз, мы обнаруживаем инфракрасное, а если энергия еще ниже – микроволновое излучение. На другом конце спектра, при энергиях, которые высоковаты для наших глаз, находятся ультрафиолетовые фотоны. При энергиях еще выше получается рентгеновское излучение, а при самых высоких – гамма-излучение.

Если вам случилось надевать инфракрасные очки,

вы, наверное, заметили, что живые теплокровные существа светятся чуть-чуть ярче, чем их более прохладное окружение. Именно поэтому Хищник так здорово охотится. Все теплые тела испускают излучение, некоторые – особенно сильно, если вы меня понимаете... Раскаленные уголья светятся красным, однако вселенная гораздо холоднее угля, ее температура составляет около  $2,7\text{ K}$ , и она светится в микроволновом диапазоне. В глубоком космосе холодно, очень холодно.

Однако стужа царила здесь не всегда. Вселенная расширяется, а это значит, что энергия все сильнее и сильнее рассеивается. На ранних этапах истории вселенной все было упаковано гораздо плотнее, и температуры стояли куда как выше. Например, спустя 14 миллионов лет с момента возникновения вселенной, в ней стояла приятная, комнатная температура в  $310\text{ K}$ , и вселенная светилась в инфракрасном диапазоне. Если заглянуть еще дальше, то окажется, что через 1 секунду после Большого взрыва температура вселенной составляла 10 миллиардов градусов, а еще раньше, через 1 микросекунду после него, – более 10 *триллионов* градусов!

На заре вселенной энергии было просто пруд пруди, и постоянно создавались всевозможные пары «частица-античастица». Два невероятно высокоэнергич-

ных гамма-фотона налетели друг на друга – бац! – и их энергия превратилась в электрон и позитрон или в какую-то другую пару из частицы и античастицы. Видите? Я же говорил, что своим существованием вы обязаны гамма-излучению!

А потом вселенная охлаждалась и в конечном итоге дошла до точки, когда новые пары уже не могли создаваться. Поскольку вселенная уже не могла создавать новое вещество, все частицы и античастицы должны были разыскать друг дружку и аннигилировать.

Вот он, ключ к ответу на великую загадку: если бы вещество и антивещество постоянно создавались и разрушались в равных количествах, сегодня не было бы ни того, ни другого, и все же вот они мы – целиком из вещества, и на первый взгляд это явно противоречит всему, что мы до сих пор наблюдали в лаборатории. Как будто вселенная припрятала козырь в рукаве.

Так откуда же вы взялись? И где все антилюди?

# Итак, вещество и антивещество одинаковы, а может быть, и нет

Иногда нам удается получить несколько античастиц в лабораториях или из космических лучей, но они живут недолго. В конечном итоге мы состоим из обычного вещества на 100 процентов. Что же случилось с симметрией, вокруг которой столько шума?

Один вариант – и где-то его уже прорабатывает какой-то писатель-фантаст: на самом деле относительно вещества-антивещества вселенная симметрична. Может быть, половина галактик во вселенной состоит из вещества, а другая половина из антивещества, и просто так вышло, что мы живем в галактике из обычного вещества.

Достойная попытка, Капитан Наука, но нет.

Тут возникает несколько осложнений, не последнее из которых – то, что с астрономической точки зрения подобное четкое и последовательное разделение вещества и антивещества попросту невероятно. Это как будто кофе в вашей чашке с левой стороны вдруг вскипел, а с правой замерз. Каковы шансы такого развития событий? Вероятность того, что по чистой случайности возникнет галактика, состоящая целиком из обычного вещества, при том, что где-то со-

берется точно такое же количество антивещества, такая же, как вероятность, что монетка упадет решкой вверх, скажем,  $10^{69}$  раз подряд.

Кроме того, галактики постоянно сталкиваются, а мы никогда не наблюдали внегалактическое столкновение, при котором высвободилась бы такая неукротимая и безбрежная энергия, какой следовало бы ожидать, если бы целая галактика из вещества налетела на галактику из антивещества. Короче говоря, судя по всему, вся видимая вселенная состоит из обычного вещества.



А теперь мне придется открыть вам страшную правду. Мы (то есть физики) не знаем, как объяснить подобный дисбаланс и почему вселенная состоит из обычного вещества. Когда речь заходит о веществе и антивеществе, законы физики становятся как материнская любовь: все мамы говорят, что любят всех

своих детей одинаково, но их поступки рисуют совершенно иную картину. В нас есть что-то особенное, что-то такое, что бережет нас от исчезновения вместе с антивеществом. Однако неприглядный факт состоит в том, что вселенная пребывает в состоянии разложения – и, вообще говоря, если частица может распасться на что-то более легкое, то распадется обязательно. Скажем, свободные нейтроны распадаются и превращаются в протоны (которые немного легче) минут через десять. А вот протонам уже не во что распасться.

Если симметрия вещества и антивещества абсолютна, протон буквально вечен – он же не может распасться. Эксперименты подтверждают, что так, возможно, и есть. Нынешний предел жизни протона – как минимум  $10^{43}$  лет. Да, я отдаю себе отчет, что это гораздо дольше возраста Вселенной, однако мы можем одновременно следить за множеством протонов – у нас их, по правде говоря, целое море, – и чем дольше мы ждем, тем длиннее оказывается минимальная продолжительность жизни протонов.

И вот тут-то и начинается потусторонняя жуть. Если протоны не распадаются, то вселенная и в самом деле никогда не сможет изменить общий баланс между веществом и антивеществом, однако если бы дело было именно в этом, у нас прежде всего не полу-

чилось бы избытка обычного вещества.

«Прежде всего» – это в течение очень короткого времени после Большого взрыва, и если вещество и антивещество поначалу слегка отличались друг от друга, значит, можно предположить, что и сейчас положение дел сохранилось. Если мы будем ждать долго-долго, то протон все-таки на что-то распадется, вопрос в том, когда и на что – и ответ на этот вопрос многое расскажет нам о разнице между веществом и антивеществом. Чтобы выяснить, чем они отличаются друг от друга, нам придется углубиться в параллельную антивселенную, а делать это самим нам что-то не хочется.

Если вам случалось читать книги Льюиса Кэрролла, то вы, наверное, замечали, что автор просто одержим симметрией. Как-никак в повседневной жизни Чарльз Доджсон – именно так его звали на самом деле – был математиком. Чтобы изучить разницу между нашим миром и другими, очень похожими, но с небольшими отличиями – например, где все вещество превращается в антивещество – нам нужен «аватар», и я не вижу лучшего кандидата, чем Алиса из «Алисы в Стране чудес» и «Алисы в Зазеркалье».

Как ни странно, Страна чудес – совсем такая же, как наш мир, только состоит из антивещества. Что обнаружит Алиса, когда спрыгнет в кроличью нору и по-

падет в антимир? Заметит ли она разницу?

Как я уже объяснял, история будет очень короткой, хотя и крайне увлекательной. Стоит Алисе очутиться на земле – а точнее, соприкоснуться с воздухом – как она исчезнет, поскольку все ее протоны и нейтроны аннигилируют, столкнувшись с антипротонами и антинейтронами Страны чудес.

А теперь давайте предположим, что в кроличьей норе с Алисой произошло чудесное превращение, и все ее атомы стали антиатомами. Можно ли представить себе эксперимент – какой угодно! – благодаря которому она поймет, что находится в Стране чудес, состоящей из антивещества? Теперь Алиса не взорвется, и вообще не произойдет ничего интересного – если и Алиса, и мир вокруг нее состоят из антивещества, ей ничего не грозит.



Алиса может даже построить лабораторию – и почти любой эксперимент будет выглядеть одинако-

во по обе стороны портала. На обычной Земле северные полюса двух магнитов будут отталкиваться друг от друга, а северный и южный – притягиваться. В Стране чудес, где все из антивещества, север превратится в юг, и наоборот, но поскольку перевернулись оба магнита, отталкиваться будут те же самые концы.

Не буду утруждать Алису. Почти любой эксперимент, какой может провести Алиса, в Стране чудес будет выглядеть точно так же, как и в нашем мире. Однако если Алиса будет очень упорной и настойчивой, то заметит малюсенькую разницу – благодаря участию частицы, о которой очень часто забывают, так называемого нейтрино.

При всей своей скромности и незаметности нейтрино (что значит «нейтральненькое» – правда, прелесть?) – одна из самых распространенных частиц во вселенной. Больше здесь только фотонов. Мы часто забываем о них, поскольку 1) они такие легкие, что лишь в 1998 году эксперимент на детекторе Супер-Камиоканде в Японии показал, что у нейтрино вообще есть масса, и 2) они электрически нейтральны, а следовательно, с ними не взаимодействует свет.

Зарегистрировать нейтрино необычайно трудно. Даже увидеть их мы смогли лишь в 1956 году, с приходом ядерной эры. В процессе повседневной рабо-

ты ядерных реакторов создается очень много нейтрино и антинейтрино. Фредерик Райнес и Клайд Коуэн из Национальной лаборатории в Лос-Аламосе поставили эксперимент, в ходе которого антинейтрино сталкивались с протонами и то и дело создавали позитроны. Поскольку позитроны только об одном и думают – как бы самоуничтожиться, столкнувшись с электронами, и создать свет – Райнес и Коуэн измерили характеристики получившегося света и доказали, что нейтрино действительно существуют. Пара пустяков!

Нейтрино так неохотно взаимодействуют с другими частицами, что если бы мне пришлось запустить нейтрино в свинцовую пластину толщиной в световой год, шансы, что оно проскочит ее насквозь, ничего не задев, составляли бы пятьдесят на пятьдесят. К счастью, нам достаточно было увидеть всего несколько нейтрино, чтобы узнать о них ужасно много. Если выстроить детекторы под горами – что заставляет вспомнить средиземскую Морию – можно регистрировать с полдюжины нейтрино в день.

Между тем роль нейтрино в нашей жизни очень заметна. Я уже упоминал три фундаментальные взаимодействия – это сильное ядерное взаимодействие, электромагнетизм и гравитация. Об одном я еще не говорил – это слабое взаимодействие. Когда про-

исходят слабые взаимодействия, почти всегда так или иначе участвует нейтрино. И хотя взаимодействие и слабое, именно благодаря этой силе солнце превращает водород в гелий, а в качестве побочного продукта вырабатывает свет и тепло, обеспечивающие жизнь на Земле. Нет слабого взаимодействия – нет и жизни, нет и нас с вами.

По большей части слабое взаимодействие в Стране чудес из антивещества происходит совершенно так же, как и на нашей Земле, однако есть одно очень тонкое различие, которое проявляется в так называемом спине – направлении вращения частицы. Казалось бы, в понятии спина нет ничего непривычного, но на самом деле спин – это очень странно, гораздо страннее, чем кажется на поверхностный взгляд.

Представьте себе частицу, например, электрон, в виде маленькой заряженной сферы. Спин электрона не такой, как у земли. Земля оборачивается вокруг своей оси за один день. На самом деле это и есть определение дня. Однако тут-то и таится подвох: из-за притяжения луны продолжительность дня медленно-медленно нарастает, примерно на две миллисекунды в столетие<sup>18</sup>. А изменить спин у субатомных частиц в принципе невозможно ни при каких усло-

---

<sup>18</sup> Супермен, само собой, справляется с задачей замедлить или разогнать Землю куда лучше.

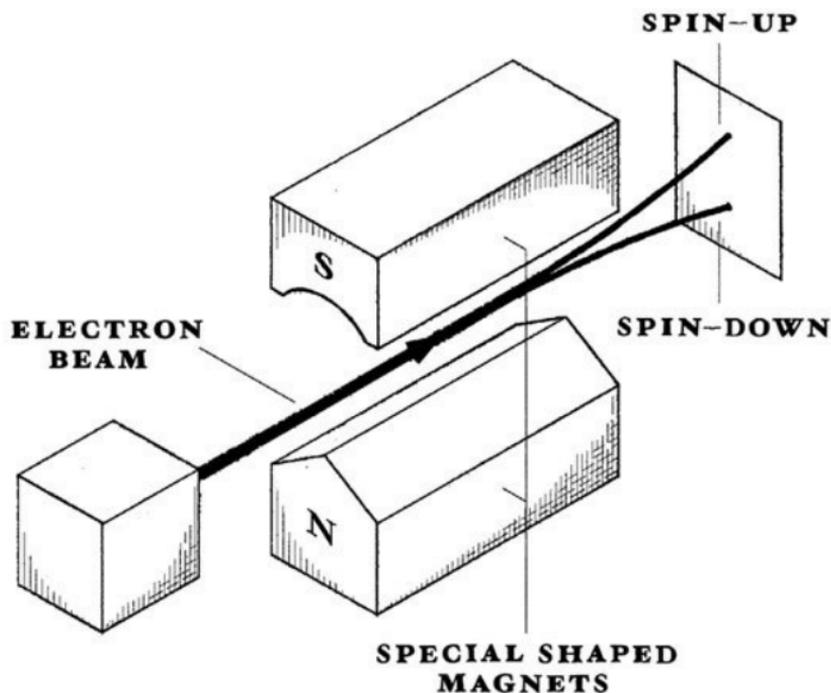
виях. Все до единой частицы, обнаруженные нами до сих пор, обладают врожденным неизменным спином, в том числе и нейтрино, о которых мы только что беседовали. Нейтрино, электроны, а если уж на то пошло, то и протоны нельзя ни затормозить, ни разогнать.

У некоторых частиц – точнее, у заряженных – измерить направление спина относительно легко. Направление спина измеряют точно так же, как находят полюса у Земли: при помощи магнитов. Внутри у Земли расплавленное железо, и когда Земля вращается, это железо генерирует гигантское магнитное поле. А мы можем измерить это магнитное поле при помощи другого магнита – хотя вы, вероятно, знаете его под названием «компас».

Электроны во многом устроены точно так же. При вращении они генерируют маленькие магнитные поля. Если посмотреть на электрон сверху, понятно, что он может вращаться двумя способами. Если один электрон вращается по часовой стрелке, говорят, что у него спин направлен вверх, а если против, говорят, что спин направлен вниз.

Чтобы разобраться, где верх, а где низ, можно пропустить электроны через устройство, состоящее из пары обычных магнитов, и посмотреть, в какую сторону электрон отклонится. На рисунке внизу показана

но, что у тех, которые отклоняются вверх, спин направлен вверх, а те, которые отклоняются вниз – вниз.



Ориентировать магниты мы можем как угодно. Понятия «вверх» и «вниз» в нашем эксперименте никак не связаны с тем, как ориентирована Солнечная система, и вообще ни с чем, просто нам будет гораздо легче не сойти с ума, если мы с вами договоримся установить системы координат так, чтобы потолок и у меня, и у вас был сверху.

У спина есть одна странная и противоречащая интуиции особенность. Если магниты ориентированы вертикально, по результатам эксперимента получится, что у электрона может быть либо спин вниз, либо спин вверх, ничего промежуточного. То ли дело вращение Земли, ось которой наклонена примерно на  $23\frac{1}{2}$  градуса к плоскости Солнечной системы. Аналогичным образом, если повернуть устройство для измерения горизонтального спина электрона, окажется, что спин у него может быть либо влево, либо вправо. Таково волшебство квантовой механики.

Но это не самый курьезный факт, касающийся спина. Представьте себе, что у вас происходит распад элементарной частицы и – хлоп! – вылетает нейтрино. Каждое отдельное нейтрино, если смотреть на него прямо, будет вылетать со спином по часовой стрелке. Поскольку зарегистрировать и пронаблюдать нейтрино трудно, то какой у него спин, мы устанавливаем косвенно, по спинам позитронов и прочего, однако спин по часовой стрелке, судя по всему, – это непреложный закон мироздания.

В антивеществе все ровно наоборот. Антинейтрино, получающиеся в результате распада частиц, будут вращаться против часовой стрелки. Видимо, вещество и антивещество понимают разницу между правым и левым – в сущности, это единственное важное

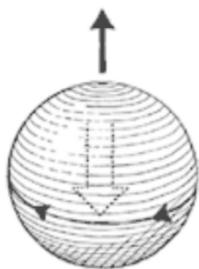
различие между ними. Как вы и то лицо, которое вы видите в зеркале по утрам – ну, примерно.

Казалось бы, различие тривиальное – и к тому же для того, чтобы его исследовать, нужно оборудование стоимостью десятки миллионов долларов – но если вы параноидально боитесь, что упали в кроличью нору, а никто и не заметил, у вас есть запасный выход.

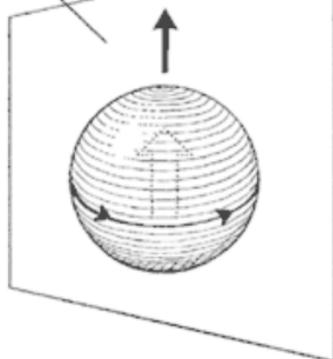
## ***Спин нейтрино и антинейтрино***

зеркало

$\nu$

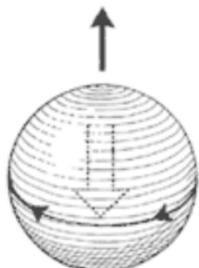


НЕЙТРИНО (ЛЕВША)

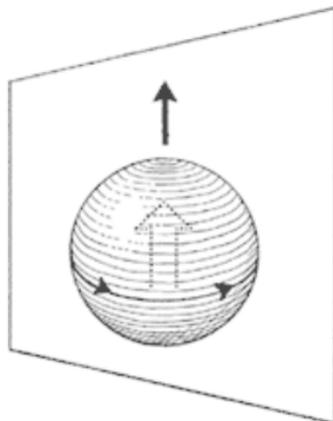


НЕЙТРИНО (ПРАВША)

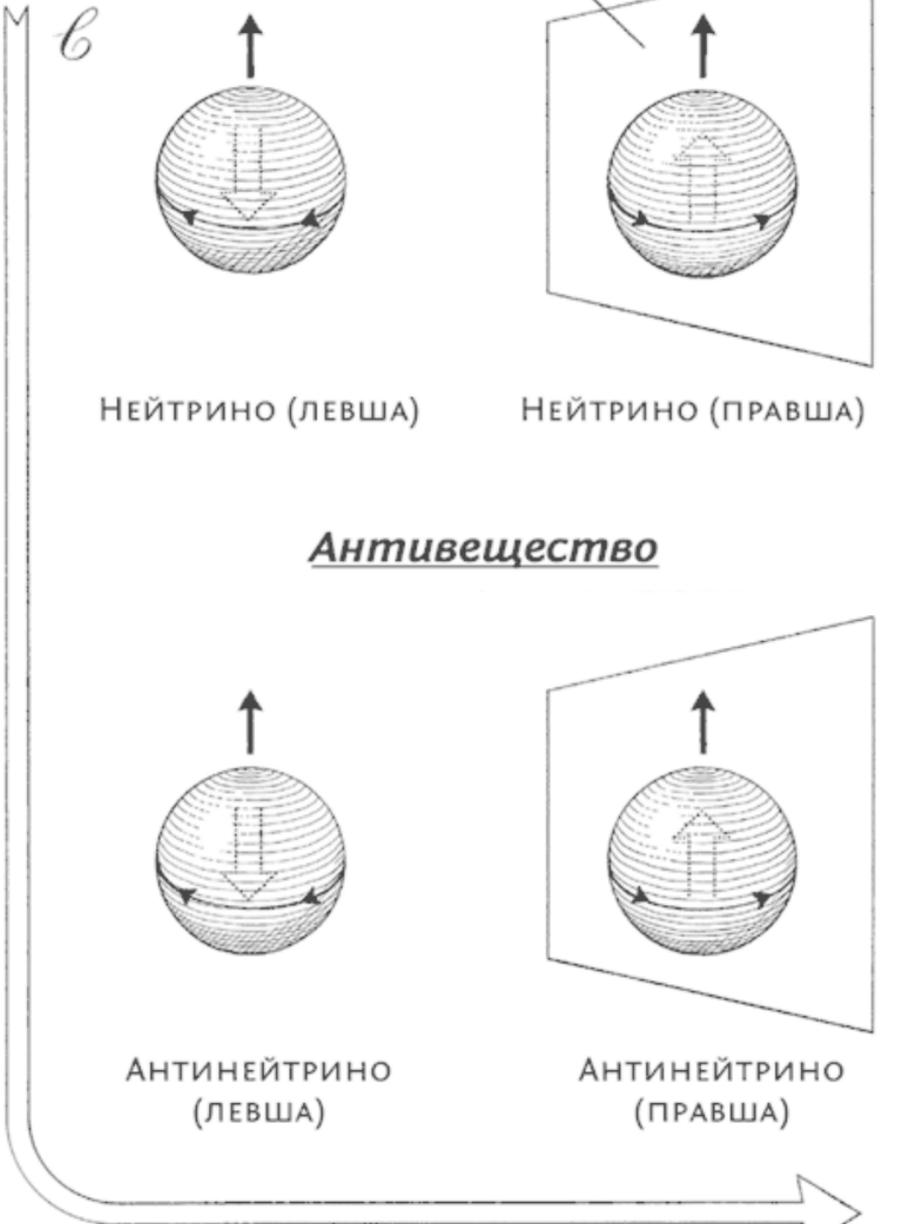
Антивещество



АНТИНЕЙТРИНО  
(ЛЕВША)



АНТИНЕЙТРИНО  
(ПРАВША)



Да, я предвижу, что все, кто читает эти строки, сейчас презрительно покривились. Получается, мы продрались сквозь все эти дебри, столько говорили о различиях между веществом и антивеществом, а обнаружили всего-навсего, что какая-то частица, с которой мы не в состоянии общаться напрямую, вращается не в ту сторону, что ее античастица?

Потерпите мое общество еще немного, поскольку пустячное различие в спине – это всего лишь верхушка айсберга.

# Физика в зеркале

Итак, вещество и антивещество почти идентичны, не считая малюсенькой разницы: у нейтрино спин направлен в одну сторону, а у антинейтрино в другую. Такова фундаментальная асимметрия вселенной, однако на этом история не заканчивается. Вернемся к лицу в зеркале.

Наверное, вам уже пришло в голову, что если смотреть на антивещество в зеркале, оно будет выглядеть как раз как надо. Случилось так, что я правша, однако моя зеркальная версия, очевидно, левша. Так же и спин. Нейтрино-левша в зеркале выглядит правой.

Зеркальные симметрии – одни из самых распространенных в природе и, пожалуй, самые симпатичные. Почти все позвоночные обладают двусторонней симметрией, по крайней мере, внешне, и очевидно, что мы генетически запрограммированы на то, чтобы нас на это тянуло. Вспомним беднягу Нарцисса, который увидел свое отражение в воде и был так потрясен собственной красотой, что навеки застыл на месте, а потом превратился в цветок. Если бы люди были отчетливо асимметричны относительно вертикальной оси, фигура, которую Нарцисс увидел в воде, была бы ему незнакома и до того неприятна, что он толь-

ко отпрянул бы в отвращении, и трагедии удалось бы избежать.

Это выходит и за пределы физического мира. Всевозможные рифмоплеты и буквоеды прямо до потолка прыгают от восторга при виде зеркальной симметрии в словах и предложениях, которые читаются одинаково что справа налево, что слева направо и называются «палиндромы». Во фразах вроде «Я сличил то и то – вот и отличился» и «Ах, у печи, мы дым, мадам, мы дым и чепуха» есть что-то очень притягательное для острого ума. Палиндромы встречаются и в изобразительном искусстве – обратите внимание на работы М. К. Эшера – и даже в музыке. В своей классической книге «Гедель, Эшер, Бах» Дуглас Хофштадтер упоминает «Крабий канон» Иоганна Себастьяна Баха, который можно сыграть задом наперед, и он будет звучать так же, как и в нормальном исполнении.

Однако большинство предметов отличаются от своих зеркальных отображений, по крайней мере, в человеческом мире. Читаем мы обычно слева направо. Леонардо да Винчи, который мог многое рассказать о симметрии как таковой, воспользовался асимметрией письменной речи и, как известно, делал заметки левой рукой и писал в обратном направлении, как и Льюис Кэрролл, чье стихотворение «Бармаглот» в первый раз появляется в зеркальном отображении.

Подобным же образом водители в большинстве стран должны придерживаться правой стороны дороги. Однако нам ничто не мешает представить себе обратную зеркальную страну, полную всевозможных ужасов: движение там левостороннее, пиво подают подогретым, а дневники Леонардо выглядят совершенно нормально.

Зеркальные асимметрии проявляются даже в нашей биологии – внутри, а не снаружи: сердце у нас сдвинуто к левой стороне груди. Люди, как и автомобили, снаружи более или менее симметричны, однако внутри у них имеются асимметрии – результат исторических случайностей.

Наша ДНК закручена в спираль очень хитроумным образом. Если посмотреть на нее с торца, она всегда закручена по часовой стрелке, то есть представляет собой правозакрученную спираль. Так же устроен и винт: как его ни верти, резьба остается прежней. Направо – закручиваем, налево – откручиваем<sup>19</sup>.

Так устроена ДНК любого живого существа на планете. Если биологу показать зеркальное отражение ДНК, он сразу распознает подвох. Кстати, одинаковое направление закрученности – очередной веский довод в пользу единого происхождения жизни на Земле.

Пропустите свет сквозь водный раствор сахара. На-

---

<sup>19</sup> Иногда делают винты с левой резьбой, но это исключение.

помню, что сахар получают из сахарного тростника, то есть это продукт не просто химии, но и биологии. Природные молекулы сахара скручены особым образом, и свет, пройдя через раствор, поляризуется, то есть будет светить скорее в одном направлении, чем в другом. Теперь стащите 3D-очки из кинотеатра. Одним глазом вы увидите только левозакрученный поляризованный свет, а другим – только правозакрученный. Так вот, если смотреть на свет, прошедший через сахарный раствор, правому глазу он покажется ярче, чем левому.

Откуда молекулы сахара знают, в чем разница между правым и левым? Сами молекулы, как и ДНК, закручены в определенном направлении, которое в зеркале меняется на противоположное. Лево-поляризуемый сахар химически тождествен правополяризуемому, но если мы разведем в чашке культуру бактерий и искусственно создадим лево-поляризуемый сахар (зеркальное отражение «настоящего»), бактерии будут голодать, потому что не смогут его есть. Ферменты, расщепляющие сахара, тоже асимметричны и приспособлены для работы только с правозакрученным сахаром. И в самом деле, зачем было бы создавать другие, раз в природе сахар только правозакрученный? Как сказала Алиса в «Зазеркалье»: «... Не знаю, можно ли пить зазеркальное молоко? Не по-

вредит ли оно тебе, Китти...» (Пер. Н. Демуровой)



Чтобы разобраться, откуда вообще взялось *фундаментальное* различие между левым и правым и так ли уж оно фундаментально, нам придется как следует взглянуть в зеркало. Легко представить себе планету, где действуют точно такие же законы физики, только у людей сердце справа и едят они наоборот – и т. д. Нам ни в коем случае нельзя забывать о подобном рода асимметриях. Они не запрограммированы – просто так получилось. Но раз уж так получилось, изменить что-то очень-очень трудно. Попробуйте проехать по левой стороне дороги – и сами убедитесь. Однако во вселенной, которую мы видим в зеркало заднего вида, все едет по левой полосе!

Зеркальная вселенная, как и антивещество, отличаются от обычных не так разительно, как нам казалось. Ричард Фейнман поясняет это на наглядном примере:

Представьте себе, что мы собрали какой-то прибор, ну, скажем, часы, в которых много всяких колесиков, шестеренок и циферок; часы тикают, часы идут, пружина заведена. Мы смотрим на часы в зеркало. Как они **выглядят** в зеркале, сейчас неважно. Но давайте соберем еще одни часы, точно такие же, как зеркальное отражение первых: вместо всех винтиков с правой резьбой возьмем такие же винтики, но с левой...

Если начальные условия у обоих часов были одинаковыми, если пружины были заведены с одинаковой силой, будут ли и те, и другие с тех пор идти в точности как зеркальные отражения друг друга?

Интуиция – и, наверное, любой эксперимент, который вы сможете провести в своей домашней лаборатории – подскажет, что если посмотреть на «перевернутые» часы в зеркале, они должны быть точно такими же и идти точно так же, как и оригинал.

Представьте себе, что Алиса оказалась в Зазеркалье, в параллельном мире, где каждый предмет – отражение земного. Сможет ли она их различить? Иначе говоря, сумеет ли она разобраться, какая рука у нее на самом деле левая?

Такое превращение посложнее, чем превращение вещества в антивещество, поскольку полностью погрузиться в предлагаемые обстоятельства практически невозможно. Скорее всего, вашей первой реакцией будет что-то вроде «Конечно, заметит. Не задавайте глупых вопросов».

Однако вспомните, что в раннем детстве вам частенько случалось путать право и лево. Как вы напоминали себе, где у вас какая рука? Англоязычных детишек учат так: оттопырь большой и указательный пальцы, и на левой руке получится буква *L* – «*left*».

Так вот этот фокус у Алисы не получится. Зеркало отражает и буквы тоже, так что  $L$  будет повернута в другую сторону. И тогда Алиса примет свою правую руку за левую. Она не сможет разобраться, на какой Земле находится – на обычной или зазеркальной – просто поглядев себе на руки.

И в этом нет ничего удивительного. Если бы отражение в зеркале не выглядело правдоподобно, я бы не попадал постоянно впросак и не налетал на зеркальные стены в ресторанах, решив, будто это продолжение зала. Каждый раз!

Мне бы хотелось, чтобы вы не забывали об одном обстоятельстве. Дело не в том, что антивещественная Страна чудес и зазеркальная вселенная тождественны вашей. Конечно, не тождественны. Вопрос в том, как видно из примера с часами, который приводит Фейнман, тождественны ли законы в этих вселенных законам в нашей, или же в них есть какое-то тонкое различие.

Алиса вольна прыгать на месте, играть с магнитами, изучать структуру атома. И все это приведет к тем же самым результатам, как и до того, как она прошла сквозь зеркало. Если бы в реальном мире все происходило точно так же, как в зеркале (на самом деле нет), у нас была бы симметрия следующей разновидности –

**$P$ -симметрия**, она же **Пространственная четность**, – это когда все законы физики действуют точно так же, если смотреть на происходящее в зеркало.

$P$  – значит «*parity*», то есть четность. Мы уже знаем, что в нашей вселенной эта симметрия соблюдается не всегда. Если частица, электрон или нейтрино, например, создается в результате слабого взаимодействия, она всегда левозакрученная (то есть если она летит на вас, кажется, что частица вращается по часовой стрелке). Античастицы обладают противоположным спином. В этом-то все и дело!

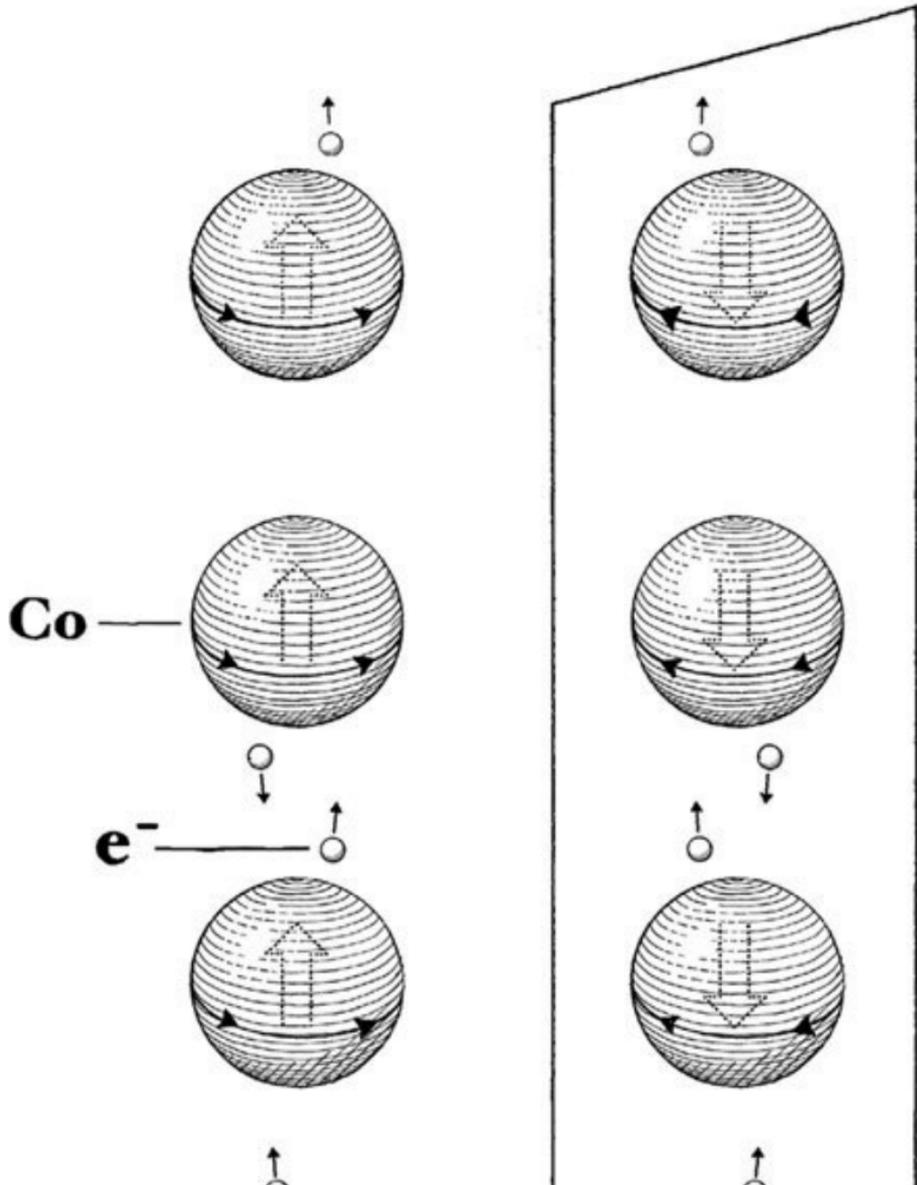
Вот в чем состоит разница между  $C$ -симметрией и  $P$ -симметрией. Они не одинаковы, однако очень тесно связаны. Между нейтрино и антинейтрино ровно два отличия: они друг другу античастицы ( $C$ ) и у них противоположный спин ( $P$ ). По отдельности ни та, ни другая симметрия в физике не абсолютны, а вот их сочетание *очень похоже* на фундаментальную симметрию природы.

Возьмите антиверсию левозакрученного нейтрино, посмотрите на нее в зеркало – и вы увидите правозакрученное антинейтрино. Начальное и конечное состояния различаются, однако и левозакрученное нейтрино, и правозакрученное антинейтрино существуют в реальности.

Алисе не нужно рассматривать такие трудноуловимые частицы, как нейтрино, чтобы понять, что в Зазеркалье все немного не так. В 1956 году Ву Цзяньсюн и ее коллеги поставили эксперимент с радиоактивным изотопом кобальта. Они направляли спин атомов кобальта в определенную сторону. Представьте себе, что если смотреть на атомы сверху, все они вращаются против часовой стрелки – то есть спин у них вверх. При распаде кобальта получались электроны. Парадоксально, но факт: большинство из них вылетали вверх. Вывод напрашивается сам собой: при распаде кобальта электроны вылетают в ту же сторону, что и спин.

## ***Распад кобальта#60***

# COBALT-60 DECAY



Как, вы не удивились? Странно.

Чтобы понять, насколько удивителен этот результат, надо представить себе всю конструкцию в зеркале. Зеркала меняют спин частиц на противоположный. В зеркале атомы кобальта вращаются по часовой стрелке, что значит, что спин у них вниз. Электроны, с другой стороны, по-прежнему вылетают вверх – что в зеркале, что без. Наконец-то найден эксперимент, который точно покажет, где вы – в Зазеркалье или дома!

# Зеркала и антивещество

Вся эта суэта вокруг зеркал и прочего, скорее всего, отвлекла ваше внимание от важного вопроса, который я пока оставил в стороне. Еще раз: откуда взялось все вещество во вселенной? Ах, конечно. Мелкая подробность.

Чтобы в этом разобраться, нам придется представить себе *еще одну* параллельную вселенную.

1. Возьмите все частицы во вселенной и превратите их в античастицы (а античастицы – в частицы).

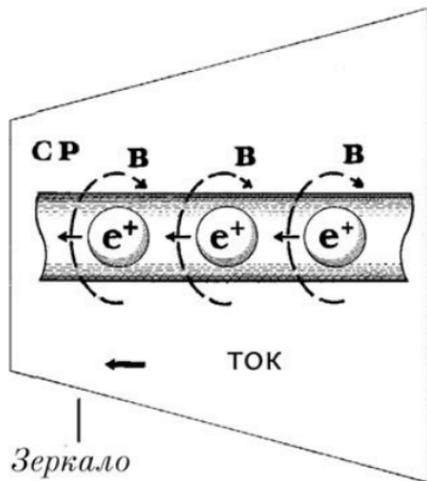
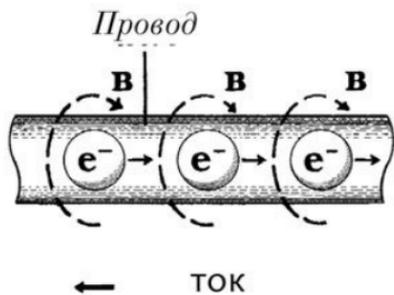
2. Посмотрите на результат в зеркало.

Вот вам вопрос на 64 000 долларов: будут ли в этой вселенной – гибриде Страны чудес и Зазеркалья – те же физические законы, что и в «настоящей»<sup>20</sup>? Такое сочетание называется *CP*-симметрией, или Комбинированной четностью.

## *Электрический ток в проводе*

---

<sup>20</sup> Страшные кавычки я включил, чтобы вы в очередной раз задались экзистенциальным вопросом о законности собственного существования.



Представьте себе, что у вас есть провод, по которому течет электрический ток. У электрона отрицательный заряд, у протона – положительный. Электроны бегут по проводу, а ток движется *в противоположном направлении*. Скажем, электроны бегут налево, тогда ток течет направо. Теперь возьмем версию Страны чудес (антивещественную): тогда налево бегут уже *позитроны*. Переверните провод в зеркале – и теперь *позитроны* бегут направо, и получается в точности такой же ток, как и в первоначальном варианте. Это на самом деле очень важно, поскольку от электрического тока возникает магнитное поле, а значит, при комбинированной четности провод производит точно такое же магнитное поле, что и в пер-

воначальной ситуации.

Итак, электромагнетизм испытания прошел, однако не всякий эксперимент ведет себя так послушно.

В 1967 году советский физик Андрей Сахаров обнаружил минимальные условия, необходимые для того, чтобы обойти проблему асимметрии вещества и антивещества; коротко говоря, чтобы проделать  $CP$ -преобразование в масштабах вселенной, что-то придется изменить. Как говорят профессионалы, происходит нарушение  $CP$ -инвариантности.

Ваше существование и в целом преобладание вещества над антивеществом – это очень сильный довод *против* идеальной  $CP$ -симметрии, однако экспериментальные данные, по крайней мере на данный момент, свидетельствуют об обратном.

Мы уже видели, что наблюдение за распадом частиц позволяет узнать об устройстве вселенной очень многое. При очень высоких энергиях в ускорителях могут возникать частицы под названием каоны, а также их античастицы. Если вы слышите о каонах впервые в жизни, стыдиться тут нечего. Живут они в среднем всего несколько миллиардных долей секунды, а потом распадаются на более легкие частицы, а те, как правило, очень-очень быстро распадаются дальше. Так что каоны на дороге не валяются<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Кстати, если вы уже запутались во всех этих незнакомых частицах,

И это не страшно, поскольку самое интересное начинается, когда каон уже распался. В 1964 году Джеймс Кронин и Вэл Фитч из Принстонского университета провели, что называется, вскрытие покойных каонов и получили неожиданные результаты. Оказалось, что каоны и антикаоны – частицы, до той поры считавшиеся идентичными – распадаются по-разному<sup>22</sup>. Так было найдено отличие вещества от антивещества.

Это отличие гораздо тоньше и коварнее, чем кажется на первый взгляд. Каоны и антикаоны медленно осциллируют туда-сюда, переходят из одной формы в другую – прямо как день и ночь.

В среднем день и ночь длятся примерно одинаково, однако эта симметрия, очевидно, иногда нарушается. Например, летом день длиннее ночи. Точно так же и симметрия между веществом и антивеществом предполагала бы, что частица должна половину времени проводить в обличье каона, а другую половину – в виде антикаона, и хотя сказать заранее, в каком состоянии она будет, мы не можем, зато можем определить, в каком состоянии и какого типа бы-

---

не беспокойтесь. Во-первых, почти все, что нужно, мы с вами уже повидали. Во-вторых, в конце книги приведена удобная шпаргалка.

<sup>22</sup> Коан каона: как звучит превращение субатомной частицы в античастицу?

ла частица перед распадом.

Если начинать с каона, то он иногда распадается на электрон и еще кое-какие остатки, которые нас не интересуют. А вот если начинать с антикаона, то он распадается на позитрон и уже другие остатки.

Ход рассуждений таков: если в начале у тебя есть огромная гора каонов и антикаонов, они осциллируют туда-сюда, и во вселенной с идеальной  $CP$ -симметрией можно рассчитывать, что на выходе будет равное количество электронов и позитронов.

А получается не так.

В подобных экспериментах позитронов на выходе получается немного больше, чем электронов. Причем не надо придавать особого значения тому, что больше получается именно позитронов. Главное – что разом поменять вещество на антивещество в масштабах всей вселенной не получится, даже если после этого поглядеть на все в зеркало и обнаружить, что все выглядит по-прежнему. Сочетание симметрии заряда и четности в нашей вселенной *не наблюдается*. А это очень важный вывод, и за него Кронин и Фитч получили в 1980 году Нобелевскую премию.

Со времен экспериментов Кронина и Фитча было получено очень много похожих и даже еще более удивительных результатов – и все говорили примерно об одном и том же: между веществом и антивеще-

ством существует какая-то асимметрия, которая, судя по всему, проявляется при слабом взаимодействии. Однако надо понимать, что ни один из этих экспериментов не привел к тому, что вещества производилось больше, чем антивещества – мы просто выяснили, что вещество и антивещество распадаются по-разному.

Однако все это в конечном итоге не объясняет нам, почему вещество и антивещество отличаются друг от друга. Какие реакции обеспечили положение дел, при котором одного создается больше, чем другого? Ведь это и был бы окончательный ответ на вопрос, откуда мы взялись.

Как именно развивались события в первые мгновения существования вселенной, пока что никто не разобрался. Нам известно лишь одно: мы существуем благодаря какому-то нарушению симметрии вселенной, которое произошло почти сразу после ее зарождения. А тогда было *очень жарко* – может быть, в этом и дело?

То и дело мы слышим, как говорят, что якобы в ускорителях «воссоздаются условия Большого взрыва». И да, и нет. В прошлом температура во вселенной, а значит, и энергия, была выше. Чем ближе к Большому взрыву, который нам хочется изучить, тем жарче. Пока что в ускорителях частиц мы не наблюдали

ничего, что хотя бы отчасти напоминало бы перепроизводство вещества по сравнению с антивеществом. На данный момент предполагается, что небольшое смещение симметрии вещества-антивещества произошло очень-очень рано – примерно через  $10^{-35}$  с после Большого взрыва, когда температура была более чем в квинтильон раз выше, чем в центре Солнца. Достаточно сказать, что добиться таких энергий в лаборатории мы не можем. И даже при таких колоссальных энергиях асимметрия между веществом и антивеществом очень мала. На миллиард античастиц создавалась миллиард одна частица. Всего одна лишняя. Всего одна. Нам это известно, потому что во вселенной на данный момент фотонов примерно в миллиард раз больше, чем протонов. Когда миллиард антипротонов аннигилировали с миллиардом протонов, от них остались те миллиарды фотонов, которые мы наблюдаем сейчас, хотя расширение вселенной их очень заметно ослабило.

В конечном итоге все античастицы аннигилировали с почти всеми частицами, оставив ту самую одну миллиардную часть, из которой и возникло все «вещество», которое мы теперь наблюдаем. Вот как об этом сказал Эйнштейн:

Меня всегда интересовало, как так вышло, что электрон отрицательно заряжен.

Отрицательный и положительный заряд – это идеальная физическая симметрия, нет никаких причин предпочитать одно другому. Почему же электрон заряжен именно отрицательно? Я долго над этим размышлял – и ничего не мог придумать, кроме «Отрицательный заряд победил!»

Иными словами, вы – всего лишь некоторая ошибка округления, сделанная примерно через  $10^{-35}$  секунд после Большого взрыва. Невелик повод для гордости, верно?

Правда, для антилюдей это не менее обидно.

# **Глава вторая. Энтропия В которой мы выясним, откуда берется время и есть ли оно вообще**

Думаю, не я один рисую себе в воображении светлое будущее, в котором мы будем рассекать по вселенной в звездолетах галактического класса. Да что тут говорить – одним из главных стимулов к написанию этой книги стала слабая надежда, что кто-то из вас решит сделать решительный шаг и разберется наконец, как сделать гиперпространственный двигатель. Однако мой долг, прежде чем вы начнете прогибать так называемые законы физики, коротко предупредить вас о том, что из этого может получиться. Я говорю не о взрывах звезд и не о вогонах из «Автостопом по галактике» (хотя и о них тоже). Я говорю об опасности сбиться с пути.

На земле нас окружают всевозможные полезные и удобные знаки и значки, позволяющие выбрать верную дорогу: сила тяжести, Полярная звезда, магнитное поле Земли. Однако в глубоком космосе нет ни верха, ни низа, ни правого, ни левого, ни севера,

ни юга.

Можно, конечно, утешаться мыслью, что даже если мы запутаемся в трех измерениях пространства, потеряться во времени нам не удастся. Уж время-то – на наш взгляд – надежное, постоянное, настоящее. Право и лево более или менее взаимозаменяемы, а прошлое и настоящее – это совсем разные вещи. Так ведь?

Предметы в зеркале обычно выглядят совершенно заурядно, однако идея «зеркала времени» представляется какой-то ерундой. Стоит запустить вселенную – да хотя бы свой рабочий день – обратно во времени, и все будет разворачиваться совсем не так, как при проигрывании вперед. Если вы видели фильм Кристофера Нолана «Помни» и сумели с первого раза разобраться в хронологии событий, могу вас только поздравить.

А теперь представьте себе, каково было бы прожить жизнь наоборот.

Есть, например, такой пустячок – причинно-следственные связи. Делаешь что-нибудь – и из-за этого происходит еще что-нибудь. А стоит повернуть вспять часы вселенной – и ни с того ни с сего следствие начнет происходить раньше причины, и все полетит в тарарары.

Вот глупые физики! Зачем столько говорить о на-

правлении оси времени, когда и так очевидно, какое у нее направление?!

Спокойно, спокойно. Ось времени куда непостояннее, чем кажется на поверхностный взгляд.

# О том, что пространство и время – это одно и то же. Или нет

Жизнь – это путешествие. В том числе и буквально – вы перемещаетесь в пространстве, видите новые места, – однако и во времени вы тоже путешествуете. Просто во времени вы перемещаетесь со скоростью одна секунда в секунду, и вам кажется, что нет ничего естественнее такого движения.

Однако на самом деле у пространства и времени куда больше общего, чем мы привыкли думать – хотя время и в самом деле отличается от пространственных измерений.

Скорость света – это не только валютный курс между веществом и энергией ( $E = mc^2$ ), но и темп конверсии между пространством и временем. Возможно, вы слышали о световых годах; световой год – это всего-навсего расстояние, которое свет проходит за год, около  $10^{16}$  метров. Если вам трудно такое представить (еще бы!), это примерно четверть расстояния до ближайшей звезды – Проксимы Центавра.

А если вы предпочитаете осмыслить это в терминах ограниченности наших технических возможностей, то вспомните космический корабль «Вояд-

жер#1»: он запущен НАСА еще в 1977 году и с тех пор летит за пределы Солнечной системы. Это самый далекий рукотворный объект, запущенный с Земли, и сейчас он находится примерно в *20 миллиардах* километров от Земли. Это расстояние свет покрывает чуть меньше чем за *17 часов*.

Вот вам близкое соотношение между пространством и временем. Многие физики именно так к ним и относятся – понятия секунды и световой секунды для них взаимозаменяемы, а скорость света они легкомысленно приравнивают к единице. С практической точки это вопрос того, как мы *определяем* меры времени и расстояния<sup>23</sup>.

В 1983 году на Семнадцатой Генеральной конференции по мерам и весам – очень пышное название – секунду *определили* в терминах «сверхтонкого перехода» цезия#133. Атом цезия периодически испускает свет, и на конференции решили, что секунда – это 9 192 631 770 периодов испускания фотона.

Если знаешь, что такое секунда, рассчитать расстояние – пара пустяков. Метр определяется очень просто: это расстояние, которое свет проходит

---

<sup>23</sup> С таким легкомысленным отношением к пространству-времени можно, конечно, и палку перегнуть. Например, если похвастаешься, что твой звездолет может пролететь по дуге Кесселя меньше чем за 12 парсеков, выставишь себя полным идиотом.

за 1/299 792 458 секунды.

Из того, что скорость света конечна, следует, что мы вечно смотрим в прошлое. Солнце, которое мы *видим* сейчас – не то, каково оно *в данный момент*. Это Солнце 8 минут назад. Может быть, 7 минут назад оно погасло, а мы об этом ничего не знаем и не можем узнать. Когда Нил Армстронг произнес свои бессмертные слова о крошечном шаге одного человека, они были достоянием истории – и в буквальном, и в переносном смысле, поскольку радиоволны, передававшие его сообщение, шли до нас около 1,3 секунды.

Вы заглядываете в прошлое даже в повседневных ситуациях, например, когда читаете книгу. Если вы держите книгу на расстоянии около 30 сантиметров от глаз, значит, вы заглядываете в прошлое примерно на 1 миллиардную секунды.

Выходит, перемещаться в пространстве и во времени – это в некотором смысле одно и то же, однако я хочу подчеркнуть различия. Во-первых, во времени вы двигаетесь *гораздо быстрее*, чем в пространстве. За одну секунду вы покрываете одну секунду времени (естественно). Но даже самые быстрые искусственные спутники покрывают лишь 0,2 световые милисекунды пространства в 1 секунду времени. Это все равно что на месте стоять.

Мы путешествуем во времени гораздо быстрее, чем в пространстве, поскольку это прямо следует из безумной скорости света. Свет перемещается так быстро, что еще несколько столетий назад мы не были уверены, что его скорость вообще конечна. Чтобы понять, что такое время, нам нужно сначала понять, что такое пространство – и это не метафора.

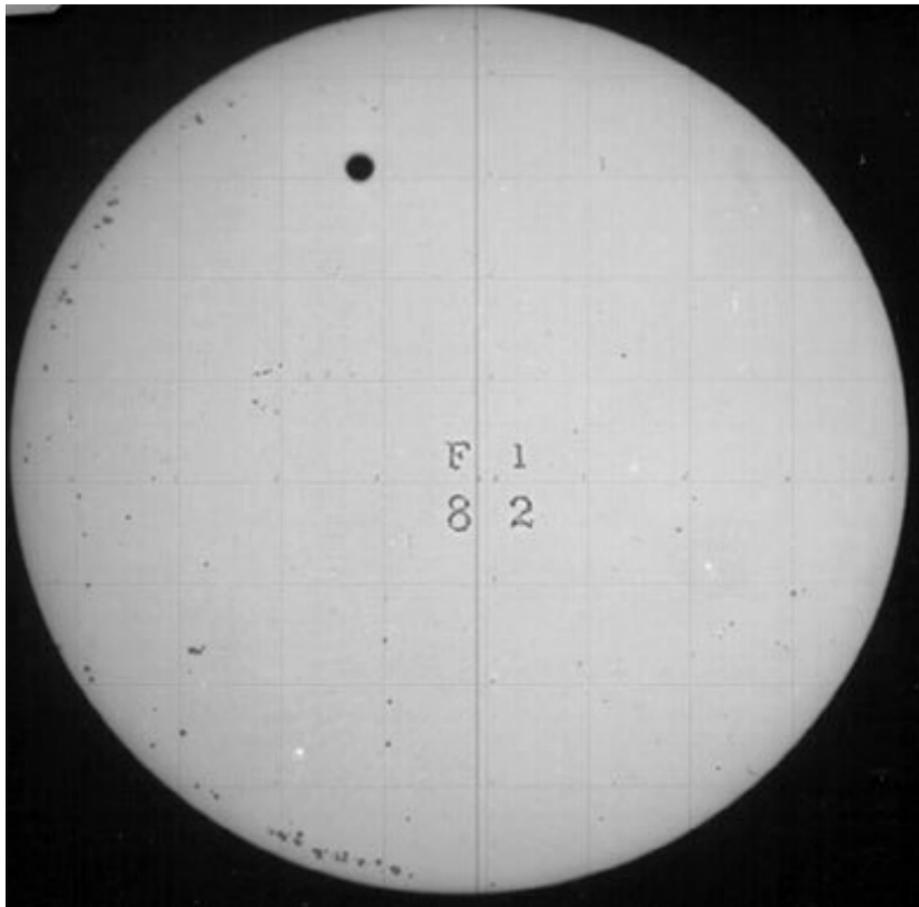
Например, первые расчеты расстояния до Солнца – сейчас мы знаем, что оно равно 149 597 870 километрам и называется (несколько неизобретательно) астрономической единицей – были сделаны на основании одной лишь геометрии, и оно исчислялось в радиусах Земли.

Древние – те, которым хватило ума понять, что не Солнце вращается вокруг Земли, а наоборот – применили для вычисления этой важной ступени в лестнице расстояний самые разные и относительно неудачные подходы. Насколько именно они были неудачными, мы судить не можем, поскольку точно не знаем, как переводить древние единицы расстояния в современные. Аристарх Самосский, работавший в III веке до н. э., сделал одну из лучших оценок для своего времени (то есть почти до наших дней) и ошибся примерно в 15 раз.

Лишь около двух тысяч лет спустя, в конце XVIII века, французский астроном Жером Лаланд воспользо-

вался редким и долгожданным астрономическим событием, чтобы точно вычислить расстояние до Солнца: астрономическим транзитом (прохождением) Венеры.

Примерно раз в сто лет планеты выстраиваются так, что Венера проходит точно между Солнцем и Землей. Астрономические транзиты очень познавательны, поскольку из разных точек земного шара они выглядят несколько по-разному. Два наблюдателя, расположившись в двух точках одной параллели (то есть линии восток-запад), увидят начало транзита с очень небольшой временной разницей.



Точно так же видят ваши глаза<sup>24</sup>. Левый и правый глаз видят чуть-чуть разные картинки, а мозг на основе этого рассчитывает расстояние и глубину. Поморгайте то одним, то другим глазом – и вы замети-

---

<sup>24</sup> Прошу извинить меня, если я оскорбил чувства циклопов.

те, как картинка слегка сдвигается, причем чем ближе предмет, тем заметнее. Если выразаться языком математики, мозг определяет все расстояния как отношения к расстоянию между зрачками.

Поскольку орбиты Земли и Венеры наклонены относительно друг друга, сначала тебе дается одна попытка наблюдения, потом ждешь 8 лет второй попытки, а потом тебе уже ничего не светит примерно 120 лет. Последний транзит Венеры был 5–6 июня 2012 года. Если вы его пропустили, то, скорее всего, больше никогда не увидите.

Лаланду очень повезло: он был в расцвете сил как раз между транзитами Венеры 1761 и 1769 годов. Сам он данные не собирал, однако у него была возможность изучить чужие наблюдения, на основании которых он сделал *очень* хорошую оценку расстояния до Солнца – с точностью до нескольких процентов.

Итак, измерить расстояние до Солнца в метрах мы сумели лишь в конце XVIII века, однако, как выяснилось, приблизительное расстояние в световых минутах было нам известно уже за сто лет до этого. Еще в 1670 годы датский астроном Оле Ремер отметил странности в поведении спутников Юпитера, открытых незадолго до того.

Наверное, вы и сами задумывались о том, что вращающиеся по орбитам небесные тела – это очень

удобные часы<sup>25</sup>. Например, ближайшая к Юпитеру луна из четырех ярких Галилеевых спутников называется Ио<sup>26</sup>, и период обращения у нее 42 часа, 27 минут и 33 секунды. Ремер сумел отметить фазы лун относительно Юпитера, когда планета была в противостоянии (то есть ближе всего). Затем, примерно через полгода, Ремер снова наблюдал Юпитер.

Теоретически он должен был предсказать точные фазы лун в любой момент. Они же крутятся, как шестеренки в часах. Однако Ремер обнаружил, что когда Юпитер подходит по своей орбите ближе всего к Земле, его спутники опережают время примерно на 22 минуты по сравнению с тем, что бывает, когда Юпитер находится дальше всего. Когда расстояние от Земли до Юпитера было максимальным, Ремер ожидал, что ближайший к Юпитеру спутник – Ио – пройдет перед Юпитером в 9.00 (на основании данных, полученных, когда Земля и Юпитер были ближе всего друг к другу), а ему пришлось ждать до 9.22.

Ремер сделал вывод (кстати, совершенно верный),

---

<sup>25</sup> Если не задумывались, позвольте указать вам на тождество слов «месяц» – «луна» и «месяц» – «двенадцатая часть года». Остальное додумайте сами.

<sup>26</sup> Названная, как и многие другие спутники Юпитера, в честь одной из весьма многочисленных возлюбленных Зевса. Ио была нимфой. Очень рекомендую почитать про мифологические сюжеты, связанные с другими Галилеевыми спутниками – так, забавы ради.

что свету нужно какое-то время, чтобы прийти от Юпитера до нас, и когда Юпитер дальше, времени требуется больше, чем когда он ближе. Поскольку ближайшая точка орбиты Юпитера находится на 2 астрономические единицы ближе к нам, чем самая дальняя, Ромер подсчитал, что свету требуется около 11 минут на то, чтобы пройти одну астрономическую единицу.

Астрономические измерения – дело нелегкое, тем более в XVII веке, когда телескопы были еще в зачаточном состоянии. Как выяснилось впоследствии, расстояние до Солнца свет покрывает скорее за 8 минут 19 секунд. Однако Ромер мыслил верно и ошибся не так уж сильно.

# Опять история! Сколько можно?!

Как я уже говорил, свет показывает, как много у пространства и времени общего, однако у них, разумеется, много и различий. В пространстве нет предпочитаемых направлений, а во времени, очевидно, есть одно – из прошлого в будущее. Прошлое и будущее – это разные вещи. А главное – самое значительное событие во вселенной, ее зарождение, а следовательно, и зарождение самого времени, произошло в прошлом. Если, конечно, у вселенной был момент зарождения.

О Большом взрыве слышали все. Однако не сразу очевидно, зачем он был нужен, этот Большой взрыв.

Когда Эйнштейн в 1915 году выдвинул общую теорию относительности, то исходил из предположения, что вселенная вечна, и даже подправил свои формулы исходя из этого. Без этой поправки – а Эйнштейн добавил в уравнения поля определенную величину под названием «космологическая постоянная» – вселенная или вечно расширяется, или сначала расширяется, а потом схлопывается<sup>27</sup>. Космологическую постоянную Эйнштейн ввел именно для того, чтобы

---

<sup>27</sup> И в этот миг, по всей видимости, ангелы небесные вострубят в печальнейшие из своих труб.

уравновесить гравитационное притяжение вещества во вселенной и добиться, чтобы все было статично. Как указывал биограф Эйнштейна Уолтер Айзексон, ученый почти сразу же пожалел о своем решении. Вот как говорил об этом сам Эйнштейн:

Честно говоря, мы вынуждены были ввести дополнительный член в уравнения поля, который не оправдан накопленными на данный момент знаниями о гравитации.

Этот член называли подгоночным параметром. Прежде чем обвинять Эйнштейна в интеллектуальной ловкости рук, задумайтесь над вопросом вечного времени вот с какой точки зрения: почему так странно жить во вселенной, где произошел Большой взрыв? Как только признаешь, что у вселенной было определенное начало, сразу же придется задаться вопросами, почему мы живем именно сейчас, а не миллиард лет назад и не через триллион лет.

Мы не могли бы жить ни в какой другой момент в истории вселенной, ни в прошлом, ни в будущем. Например, период в истории Земли, когда условия на ней подходят для нашего существования, на удивление краток. Если мы прежде не найдем другого способа самоуничтожения, примерно через 4 миллиарда лет Солнце превратится в красный гигант и выжжет на Земле все, что умудрится дожить до той поры. Од-

нако по космическим масштабам это всего лишь миг. Хотя вселенная просуществовала всего 14 миллиардов лет – по нашим нынешним оценкам – она продолжит расширяться буквально вечно. Однако существование сложных форм жизни требует определенных благоприятных условий. Для поддержания любой деятельности, с участием жизни и без него, нужно определенное количество энергии, для сложных химических реакций необходимы тяжелые элементы и т. д. Это называется «антропный принцип»<sup>28</sup>.

Вселенная разная в разных местах и меняется со временем. Вольные трактовки антропного принципа предполагают всего лишь, что люди скорее всего очутятся в тех регионах пространства и времени, которые лучше всего подходят для их эволюции и существования. Иными словами, мы здесь потому, что если бы нас не было, мы не задавались бы вопросом, как так получилось, что нам повезло жить в одном из немногих мест, приспособленных для жизни.

Видите? Аргументация замкнута сама на себя.

Во вселенной, скорее всего, пройдут еще квадрильоны лет, однако звезды вроде нашего Солнца способны существовать лишь в микроскопически крошечный период на этой оси времени. В глобаль-

---

<sup>28</sup> Несмотря на корень «антроп», речь идет отнюдь не только о безвольных говорящих обезьянах.

ном смысле слова мы живем в сумерках мироздания, поскольку дальше будет в основном темно, холодно и крайне неудобно. Мы живем примерно через 10 миллиардов лет после Большого взрыва, поскольку, по нашим сведениям, это более или менее единственный период, в которой мы вообще можем существовать.

Очень легко забыть о том, как недружелюбно вселенная в целом относится к жизни, и предположить, будто все планеты и все эпохи в истории мироздания похожи на наши. По крайней мере некоторые наши предположения о том, что мы можем обнаружить в глубинах космоса, отражают инопланетяне из кино. Даже те, кто не метр восемьдесят ростом (плюс-минус) и не напоминает гуманоида хотя бы смутно, все равно обладают двусторонней симметрией, и потребности и желания у них примерно такие же, как у нас, и разум (несмотря на дополнительные миллиарды лет эволюции) более или менее человеческий.

Чарльз Дарвин еще в XIX веке в своих работах весьма убедительно доказал, что люди были не всегда, а вскоре после него геологические данные продемонстрировали, что возраст Земли тоже имеет свои пределы. Эйнштейну об этом, конечно, было известно, однако в начале XX века мы не знали о вселенной

еще очень и очень многого.

Лишь в 1920 году сэр Артур Эддингтон (тот самый, который считал, что теорию относительности понимают лишь они с Эйнштейном) обнаружил, что Солнце и другие звезды горят благодаря термоядерному синтезу. Разумеется, он не смог бы сделать это открытие, если бы Эйнштейн не открыл эквивалентность массы и энергии. Без этих ключевых доказательств у нас не было бы никакой возможности вычислить возраст Солнца, не говоря уже о вселенной.

В 1924 году, спустя девять лет после того, как Эйнштейн выдвинул общую теорию относительности, Эдвин Хаббл открыл, что Млечный Путь – не единственная галактика (или «туманность», как он ее назвал) во вселенной. Прошло еще пять лет – и Хаббл обнаружил, что почти все галактики во вселенной разбегаются от нас, причем чем дальше галактика, тем быстрее она удаляется. Это несомненный признак, что вселенная расширяется – а следовательно, у нее было начало.

Эйнштейнова модель стационарной вселенной все равно была несостоятельна. Даже если бы космологическая постоянная идеально удерживала вселенную от расширения или коллапса, маленькие участки вселенной все равно бы схлопывались. Модель в целом была крайне нестабильной.

Открытие Хаббла не смутило и не обескуражило, а восхитило Эйнштейна:

Сотрудники обсерватории Маунт-Уилсон – поистине выдающиеся ученые! Недавно они обнаружили, что спиральные туманности распределены в пространстве приблизительно равномерно, и показали наличие сильного эффекта Доплера, пропорционального расстоянию до туманностей, который можно уверенно вывести из общей теории относительности без «космологического» слагаемого.

Однако не все так радовались идее начала вселенной. Фред Хойл, который, кстати, первым употребил выражение «Большой взрыв» в *насмешку* над этой теорией, а получилось, что он создал общепринятый термин, и его единомышленники пытались развенчать модель Большого взрыва, предложив вместо нее стационарную модель, согласно которой вселенная и в самом деле расширяется, однако постоянно создается новое вещество, чтобы заполнить пустоты. И это совсем не такая дурацкая мысль, как вам, вероятно, показалось на первый взгляд.

Не забывайте, как пуста вселенная в среднем – а значит, модель стационарной вселенной Хойла предполагает, что нужно создавать лишь самую ма-

лость дополнительной энергии. За все время жизни нашего Солнца объем пространства размером с Землю был бы должен выработать лишь пару миллиграммов вещества. Право слово, вы этого и не заметили бы.

Сложность со стационарной моделью Хойла состояла в том, что нет причин предполагать, что вещество действительно постоянно создается. Более того, в наши дни стало возможным изучить историю вселенной (то есть наблюдать объекты на разных расстояниях от Земли), и у нас нет никаких сомнений, что вселенная в целом меняется.

В последние два десятка лет наблюдения далеких вспышек сверхновых продемонстрировали, что вселенная не просто расширяется, но еще и ускоряется – именно этого мы могли бы ожидать, если бы во вселенной была большая космологическая постоянная. Теперь это принято называть *темной энергией*, однако суть осталась более или менее прежней: во вселенной есть какое-то постоянное всепроникающее течение, которое, судя по всему, противодействует гравитации. Это потрясающе важный вывод – настолько, что Сол Перлмуттер, Брайан Шмидт и Адам Рисс, руководители групп, которые к нему пришли, в 2011 году были удостоены Нобелевской премии по физике.

У концепции ускорения вселенной есть несколько интересных следствий. Вселенная будет расширяться вечно и при этом все сильнее остывать – в сущности, беспредельно. Звезды сгорят. Некоторые превратятся в черные дыры, но и те в конце концов испарятся. Протоны (теоретически) распадутся и превратятся в излучение, а излучение по всей вселенной будет все больше рассеиваться и становиться все холоднее и холоднее.

Итак, будущее вселенной холодно и неприглядно, а прошлое – адский круговорот хаоса и огня. Мы и в самом деле живем в особенно благоприятный момент в ее истории.

Но если вселенная различает прошлое и будущее, из этого не обязательно, что их различают законы физики. Может быть, различают, а может быть, и нет. Давайте разберемся.

# Окло

Одно из наших самых фундаментальных предположений гласит, что законы физики не меняются со временем, даже если меняются наблюдаемые последствия их действия. Но вы же знаете, что бывает, если неосторожно что-нибудь предположишь.

Нам всегда следует учитывать возможность, что законы меняются, просто при этом они как-то подстраиваются друг к другу таким образом, чтобы создавать у вас идеальную иллюзию, будто они не меняются. Ну, словно бы кто-то закопал у вас в саду кости динозавра, чтобы создать иллюзию, будто землю когда-то населяли исполинские ящеры. Как бы это ни было маловероятно.

Мы живем именно сейчас, и любой эксперимент, какой только способны произвести люди, может длиться лишь несколько сотен лет из 13,8 миллиардов лет существования вселенной. Даже если законы физики меняются, сомнительно, чтобы они менялись так быстро, что мы, жалкие людишки, успели бы это непосредственно зарегистрировать.

А значит, утверждения о неизменной природе физических законов обязательно должны опираться на эти самые физические законы, чтобы строить предполо-

жения о прошлом. Правда, в конечном итоге модели прошлого создают картину на удивление непротиворечивую. Я со своей стороны вполне удовлетворен подобного рода аргументами. Очень трудно делать абсолютно непротиворечивые предположения, которые приводят к непротиворечивым выводам: так бывает только в том случае, если предположения верны.

Очень трудно, но все же, наверное, возможно.

Иногда природа сама проводит эксперименты, которые позволяют получить однозначный ответ о неизменности законов физики. Одна из таких природных «установок» была обнаружена в 1971 году в деревне Окло в Габоне. Французы уже давно добывали в Габоне уран, но тут геологи обнаружили не что-нибудь, а древний ядерный реактор – иначе и не скажешь.

Под словом «древний» я имею в виду не «доисторический»: события, о которых у нас идет речь, произошли два миллиарда лет назад – это значительный период времени, сопоставимый с возрастом и нашей планеты, и вселенной в целом.

Предвосхищая неизбежное, оговорюсь, что сценарий вроде «Колесниц богов» тут совершенно ни при чем. Просто взаимодействие минералов в древних скалах, течение рек и жутко голодные бактерии сговорились и создали в одном месте такую высокую концентрацию урана, какая обычно не встреча-

ется вне ядерных реакторов.

Уран – вещество достаточно коварное и опасное, однако существуют разные его изотопы, и не все они ведут себя одинаково. Самый распространенный – это уран $^{238}$ , однако главную роль в делении ядер играет уран $^{235}$  (U $^{235}$ ). Чтобы заработал реактор, где происходит деление ядер, необходимо в числе прочего обогатить уран при помощи ряда центрифуг, чтобы концентрация U $^{235}$  достигла нескольких процентов. В природных породах U $^{235}$  составляет всего лишь 0,7 процента общего количества урана на Земле, однако два миллиарда лет назад его было куда как больше – 3,7 процента; примерно такой уровень применяется в современных легководных ядерных реакторах. Соотношения изменились, поскольку уран постоянно распадается, а U $^{235}$  распадается в шесть раз быстрее, чем U $^{238}$ .

Сочетание природного обогащения и больших запасов урана привело к накоплению критической массы. Уран расщеплялся на изотопы палладия и йода с выделением большого количества энергии, что подпитывало дальнейший процесс. Район Окло стал природным ядерным реактором, действовавшим миллионы лет.

Удивительно, что это вообще произошло. Но еще удивительнее, что пропорциональный состав отходов

от ядерного деления в точности таков, как у отходов от ядерного деления в современных ядерных реакторах. Ядерные реакции – дело очень хитрое. Если бы ядерные силы со временем менялись – а мы, напомню, говорим о событиях, происходивших два миллиарда лет назад – мы бы сумели это увидеть более или менее непосредственно.

Постоянство физических законов – это отнюдь не просто курьезный факт, они не просто удобные инструменты, позволяющие делать осмысленные выводы о ранней вселенной, хотя и это тоже важно, что и говорить. На самом деле мы имеем дело с очередной симметрией.

**Симметрия трансляции времени** состоит в том, что все законы физики в разное время ведут себя одинаково.

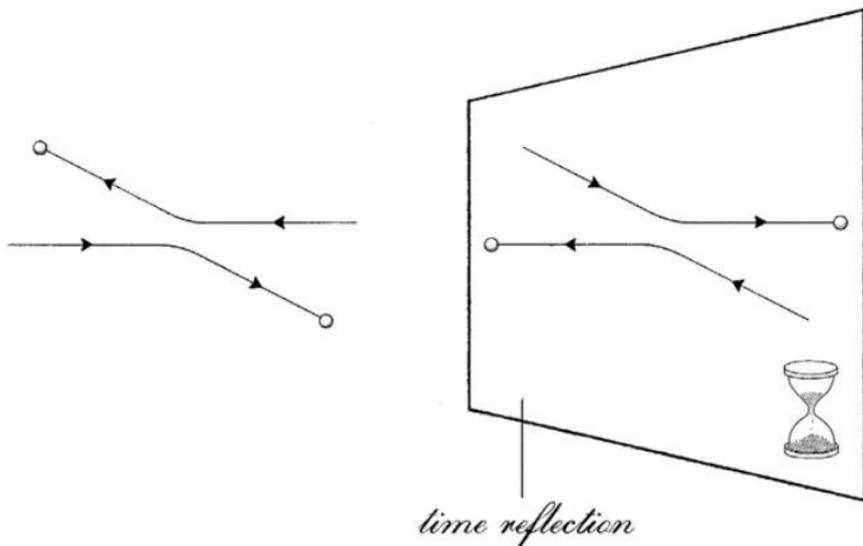
Казалось бы, просто интересное обстоятельство, однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что это, кроме всего прочего, очередная формулировка закона сохранения энергии, согласно которому энергию невозможно ни создать, ни уничтожить. Так что эта невидимая глазу симметрия на самом деле очень важное обстоятельство в жизни вселенной: она позволяет нам заниматься наукой. Любая вселенная, где законы могут меняться, волей-неволей лишила бы нас способности предсказывать будущее.

# Стрела времени

Законы физики во вселенной неизменны, однако сама она меняется со временем. А что происходит с осью времени – неизменно ли ее направление?

## Столкновение электронов

### COLLIDING ELECTRONS



Персонажи книг – например, Мерлин из «Короля былого и грядущего» Теренса Уайта или Белая Коро-

лева из «Зазеркалья» – иногда живут задом наперед. В фильме «Помни» события изложены в обратном порядке, чтобы поставить нас на точку зрения дезориентированного главного героя Леонарда, утратившего долговременную память. То есть авторы намекают нам, что на их героев законы течения времени действуют иначе, чем на нас, остальных смертных.

Однако давайте исключим на время из уравнения самих себя (и своих любимых волшебников) и поглядим, как все происходит на фундаментальном уровне. Если рассмотреть практически любые законы физики, получается, что о течении времени они вспоминают в последнюю очередь. Снимите на видео столкновение двух электронов – и если пустить запись в обратную сторону, она будет выглядеть так же нормально и физически достоверно, как и первоначальный вариант. Похоже, на микроскопическом уровне время абсолютно симметрично<sup>29</sup>.

Нам даже не обязательно ограничиваться микроскопическим масштабом. Осмелюсь предположить, в какой-то момент своей биографии вам случилось играть в мяч. Мяч летит по дуге, которая называет-

---

<sup>29</sup> Специально для зануд: да, кроме слабого взаимодействия. Пока что оно для нас роли не играет, а впоследствии мы о нем еще поговорим, не волнуйтесь.

ся «парабола»<sup>30</sup>. Снимите видео про игру в мяч, посмотрите его в обратном направлении, и хотя выглядеть игра будет не совсем так же, как в изначальном варианте – мяч, например, полетит сначала не справа налево, а слева направо – с точки зрения физики она покажется абсолютно достоверной.

Это еще одна симметрия – и, как и у прочих, у нее есть свое название.

**Т-симметрия:** при обращении течения времени законы физики выглядят по-прежнему.

Тут мы ненадолго остановимся. Взгляните на вселенную в зеркало – и все будет выглядеть более или менее правильно. Буквы написаны наоборот, люди ездят не по той стороне дороги, сердце не в той стороне груди, но в остальном вы чувствуете себя вполне пристойно и, скорее всего, быстро приспособитесь. Подобным же образом все будет выглядеть нормально, если заменить все частицы на античастицы. Правда, наведываться в такие места вам не стоит – иначе вы мгновенно аннигилируете. А вот вселенная, где время течет вспять, на наш взгляд будет совершенно безумной!

Определенно, *представляется очевидным*, что такой симметрии в нашей вселенной быть не может. Ин-

---

<sup>30</sup> Особенно хорошо это получается, когда играешь в мяч на Луне: там нет сопротивления воздуха.

туитивно *кажется*, что это невозможно, правда?

С другой стороны, интуиция столько раз нас обманывала. Когда мы говорим о симметрии вселенной, то имеем в виду не преобразование вселенной в целом, а преобразование ее законов. Вот, мол, посмотрим на игру в мяч или на одну-единственную пару электронов, отскочивших друг от дружки, и их и обратим, а больше ничего трогать не станем.

Итак, действуют ли законы физики во вселенной Мерлина? Или, выражаясь более учено, остаются ли неизменными законы физики при  $T$ -преобразовании? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно понять, как  $T$ -симметрия относится к заряду и к старым добрым зеркальным симметриям  $C$  и  $P$ , с которыми мы уже знакомы. С точки зрения математики разница между электроном, движущимся вперед во времени, и позитроном, движущимся во времени назад, очень мала.

Ричард Фейнман в своей Нобелевской лекции вспоминает разговор со своим научным руководителем Джоном Уилером:

Когда я учился в магистратуре в Принстоне, мне как-то раз позвонил профессор Уилер и сказал:

– Фейнман, я знаю, почему у всех электронов одинаковый заряд и одинаковая масса.

– Почему?

– Потому что все они – один и тот же электрон!  
– Профессор, но ведь позитронов меньше, чем электронов, – возразил я.

– Ну так, может быть, они прячутся в протонах или что-то в этом роде, – сказал Уилер.

К его идее, что все электроны – это один и тот же электрон, я отнесся не так серьезно, как к замечанию, что, возможно, позитроны – это электроны, которые движутся из будущего в прошлое в задней части своей мировой линии. Эту идею я украл!

Помните вышеприведенный пример с током в проводе? Если снять позитрон на видео и посмотреть задом наперед, он произведет точно такое же магнитное поле, как и электрон, который бежит вперед. Мы можем даже представить себе создание параллельной вселенной по следующему алгоритму:

1. Превратим все частицы в античастицы и наоборот.
2. Посмотрим на все в зеркало.
3. Обратим ход времени.

Это называется *CPT*-преобразованием, и о нем мы не можем сказать почти ничего, кроме того, что буквально все сделанные человечеством эксперименты показали, что вселенная *CPT*-симметрична. И это очень важно, поскольку помимо всего прочего мы наконец-то обнаружили во вселенной абсолютную сим-

метрию.

Иными словами, очень похоже, что физика частиц на микроскопическом уровне более или менее одинакова при «просмотре видеозаписи» в обоих направлениях. С точки зрения фундаментальной физики, в оси времени нет ничего особенного – не больше чем в том, какая из частиц электрон, а какая позитрон.

И все же мы прямо чувствуем, что время не такое, как остальные измерения. Но почему?! Короткий ответ: мы не знаем ничего, кроме того, что вот так уж оно устроено. Но есть и длинный ответ. Длинный и интересный.

## Второй закон

Вы помните прошлое, а не будущее. Невозможно распечь торт, повернуть обратно фарш, превратить яичницу в яйцо или заставить бильярдные шары съехаться в аккуратный треугольник.

У всего на свете есть общая тенденция – приходить во все больший беспорядок. Вам эта закономерность известна как Второй закон термодинамики. Сформулировать Второй закон можно довольно цветисто – «все разваливается», – но на самом деле все еще проще.

Своим становлением термодинамика по крайней мере отчасти обязана промышленной революции. В 1820 годах французский инженер Николя Леонар Сади Карно всего-навсего хотел усовершенствовать паровой двигатель – и обнаружил, что как ни старайся, а какая-то часть энергии все равно расходуется впустую в виде тепла. К 1850 годам Рудольф Клаузиус предложил более научную формулировку закона, получившего название Второго закона термодинамики:

Не бывает процессов, единственным результатом которых была бы передача тепла от тела с более низкой температурой телу с более высокой температурой.

Любая система, предоставленная сама себе – в том числе и вселенная – в конечном итоге достигнет температурного равновесия. Все станет одинаково неупорядоченным. Равномерность – это более или менее предельное отсутствие структуры. Формулировка Второго закона по Клаузиусу сама по себе не слишком познавательна. Если не сдержаться, можно даже ляпнуть грубость – мол, это же очевидно!

К счастью, через 20 лет после того, как Клаузиус сформулировал Второй закон, Людвиг Больцман пришел нам на выручку и определил понятие энтропии. Тут никаких формул не нужно, достаточно классического примера.

Возьмите монетку и бросьте ее 100 раз. Я подожду. Если монетка у вас честная, без подвоха, то есть падает орлом или решкой вверх с одинаковой вероятностью, вы, вероятно, не очень удивитесь, обнаружив, что примерно 50 раз (плюс-минус) у вас выпал орел (O), а другие 50 раз (минус-плюс) – решка (P).

Если продажи этой книги пойдут неплохо (подождите, я скажу, насколько именно неплохо), не исключено, что кто-то из вас посмотрит на свои записи – и, представьте себе, обнаружит, что все сто раз у него выпал орел! Вот так странность! Или нет?

Ваш друг-зубрила, вероятно, кисло заметит, что не надо так уж удивляться, если все монетки у вас

выпали орлами. Вы же не удивились бы, наверное, если бы оказалось, что ваша монетка упала вверх орлом и решкой в определенной последовательности. Вот, например, мои сто бросков дали следующий результат:

**ORPROOPRRPOOROORPOR**

**ROROROOROOROROORPOR**

**PROOROPRPOORORORPOR**

**PPPPROORPOROROROPOR**

**OORROORRRPORORRRPO**

*Любая* цепочка событий не очень-то и вероятна. Выбросить орла при первом броске можно с вероятностью 50 %, решку при втором – тоже 50 %, вместе они составляют 25 %. Поясню: вероятность получить при двух бросках монеты определенную последовательность из орла и решки (например, ОР) составля-

ет 25 %, однако столь же вероятно, что у вас выпадет похожая комбинация вроде РО. Если посчитать вероятности дальше, получится, что шанс получить любую конкретную последовательность результатов после 100 бросков составляет примерно 1 на  $10^{30}$ , и приблизительно столько нужно собрать читателей этой книги, чтобы все они бросили монетку по 100 раз и у кого-то одного выпала последовательность из 100 орлов. Так чего, собственно, так волноваться из-за какой-то одной маловероятной последовательности?

Случалось ли кому-то из ваших друзей или, Боже упаси, вам самим влюбляться, терять голову и подсчитывать, насколько невероятно, что ваша пассия и есть та самая единственная ваша половинка на всем белом свете? А если вы еще больший эгоцентрист, случалось ли вам задумываться, насколько невероятно ваше собственное существование? Мало того что тут же встает вопрос о зарождении жизни, налицо крайне малая вероятность встречи и знакомства ваших родителей, двух пар ваших бабушек и дедушек, четырех пар прабабушек и прадедушек – и т. д. на десятки миллионов поколений? Нет, серьезно, велики ли шансы?!..

Да, конечно, любая конкретная последовательность событий крайне маловероятна, однако что-то должно происходить. Мы начинаем приписывать со-

Бытиям значение только в исторической перспективе. Так же и с монетками: каждая конкретная последовательность орлов и решек крайне маловероятна. Однако у огромного количества последовательностей орлов и решек есть одна общая черта: на сто бросков приходится примерно по 50 орлов и решек<sup>31</sup>. Точная последовательность результатов бросков называется *микросостоянием* системы, в то время как общие параметры – в нашем случае это общее число орлов, но на самом деле это запросто может быть что-нибудь вроде температуры или плотности газа – называется *макросостоянием*.

Получить все орлы – это уникальный случай. Для такого конкретного макросостояния есть только одно микросостояние, поэтому ситуация и правда особая.

В сущности, энтропия – это количество микросостояний<sup>32</sup>, в которые могут организоваться частицы или броски монеток, чтобы в результате у вас получи-

---

<sup>31</sup> Моя случайная последовательность получилась ровно 50 на 50, но я бы ничуть не удивился, если бы у меня вышло, например, 48 на 52.

<sup>32</sup> Строго говоря, это логарифм числа вариантов, однако поскольку заниматься вычислениями мы не будем, эта мелочь не должна вас особенно тревожить. Важно лишь одно: для макросостояний, которых можно достичь множеством разных способов, энтропия высока. А если то или иное макросостояние обеспечивают лишь несколько микросостояний, энтропия низка.

лась конфигурация с тем же макросостоянием.

Что именно обеспечивает уникальное макросостояние в системах более хитроумных, чем броски монеток, определить трудновато. К счастью, 1) у нас не учебник математики и 2) для большинства практических целей точное представление о том, как выделить то или иное макросостояние, особенно не влияет на суть аргументации.

Возьмем, к примеру, покер. Существует примерно 2 600 000 комбинаций из пяти карт, которые можно вытянуть из стандартной колоды. Флеш-роялей – главной комбинации карт в покере – из них всего четыре (по одному на масть). Однако вытянуть «старшую карту» или кикер (не стрит, не флеш и не пару) можно более чем полутора миллионами способов. То, какая у вас комбинация (флеш-рояль против кикера) – это макросостояние, тогда как конкретный набор карт – это микросостояние. Энтропия кикера гораздо выше, чем энтропия флеш-рояля.

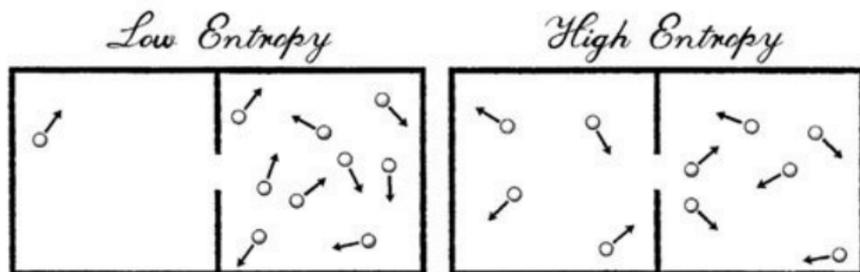
Ну или порядок у флеш-рояля выше. Но это вы, наверное, и без меня знаете.

А теперь представьте себе, что вы не бросаете монетку и не играете в карты, а взяли четыре молекулы газа и поместили в левую половину коробки. Это очень аккуратный способ хранения с очень низкой энтропией. Теперь предоставьте природе сде-

лать свое дело – и молекулы запорхают во все стороны, причем каждая будет проводить половину времени в левой половине коробки (Л), а половину в правой (П). Можно сделать снимок случайного положения четырех молекул в любой момент. Выстроиться они могут 16 способами, но лишь два из них – ЛЛЛЛ и ПППП – предполагают, что все четыре молекулы окажутся в одной половине коробки. Вероятность такого положения дел всего 12,5 %. Все остальное время молекулы распределены более равномерно. Например, есть шесть способов (37,5 %) рассортировать молекулы так, чтобы в каждой половине коробки их было ровно по две. Равномерное распределение – это более высокий уровень энтропии, чем концентрирование.

## Энтропия

### ENTROPY



В ту же игру можно играть, если брать все ту же монетку и подбрасывать в воздух. Каждый орел – это молекула в левой стороне коробки и наоборот. Проделайте это много раз – и вы убедитесь, что молекулы почти всегда распределены приблизительно равномерно. Если случайным образом распределять 100 молекул 10 раз в секунду, можно ожидать, что все молекулы окажутся в одной половине коробки, когда пройдет время, приблизительно равное триллиону нынешних возрастов вселенной.

Увеличьте количество молекул, скажем, до  $10^{28}$  – количества, способного наполнить небольшую комнату, – и теория вероятности потребует, чтобы случайные движения в конечном итоге привели к равномерному распределению молекул. Если выразить это в числах, то шансы, что обе половины комнаты будут равномерно наполнены воздухом, составляют примерно сто триллионов к одному.

В какой-то момент системы так разрастутся, что уменьшение энтропии станет не просто маловероятным, а до такой степени невозможным, что сама мысль о другом исходе ломает вам мозг. Вот почему так называемый Второй закон термодинамики на самом деле – блестящее *предположение*. Так что если вы – путешественник по времени, сбившийся с пути,

и хотите выяснить, в чем разница между прошлым и будущим, можно просто разобраться, когда энтропия возрастает.

Это не может продолжаться вечно.

Если вся вселенная – всего лишь огромная коробка с газом, в конечном итоге будет достигнуто равновесие, точка, в которой энтропия достигнет максимума и газ распределится между двумя половинами коробки в точности 50 на 50. Когда во вселенной будет максимум энтропии, ей, энтропии, останется только одно – уменьшаться. Молекулы будут и дальше скакать туда-сюда – и нет-нет да и накопится несколько лишних то с одной, то с другой стороны, и тогда энтропия *уменьшится*. То, что в нашей вселенной есть энтропия, не просто означает, что все распадется – это означает, что способов пребывать в беспорядке *гораздо больше*, чем пребывать в порядке.

Рассмотрим более общепринятое определение энтропии – определение, где речь идет о температуре. В реальных газах некоторые молекулы летают быстрее прочих. Быстрые молекулы горячее медленных. Состояние максимальной энтропии потребует, чтобы температура нашего газа была распределена как можно более равномерно. Способов растратить богатство *гораздо больше*, чем способов сохранить его в одном месте.

Если среди вас есть креационисты, можете воспользоваться этим как доводом в пользу того, что сложные структуры, например, люди и динозавры, не могли быть созданы первыми. Вы-то человек весьма упорядоченный и архисложно устроены. Хотя можно немного переставить ваши атомы и результат будет выглядеть как вы, гораздо больше способов переставить атомы так, что результат будет ничем не похож на вас. Если я возьму все химические вещества, из которых вы состоите, и налью в бетономешалку, едва ли из нее выльется ваш клон.

Могу вас обрадовать: на странице этой книги мы еще выясним, как сделать из этих химических веществ вашего клона. Но должен и огорчить: для этого в процессе придется уничтожить оригинал, то есть вас.

Подведем итог: можно обнаружить то там, то сям пяточки низкой энтропии, в этом нет ничего из ряда вон выходящего, однако за них приходится платить.

В масштабах вселенной энтропия возрастает. Так что если, к примеру, сделать прекрасный холодильник, полный холодного воздуха, добиться этого можно будет только за счет создания большого количества горячего воздуха с высокой энтропией. Вот почему кондиционеру нужна вытяжка, а батарее отопления – нет. А еще именно поэтому нельзя создать

вечный двигатель. Как учит нас Карно, часть энергии неизбежно обратится в тепло.

# А нельзя ли обойти Второй закон?

Джеймс Клерк Максвелл, живший в XIX веке, придумал замечательный мысленный эксперимент, при помощи которого можно было бы найти лазейку во втором законе термодинамики. Максвелл представил себе емкость, наполненную молекулами газа, и быстрыми, и медленными, основательно перемешанными, так что достигнуто состояние высокой энтропии. В середине емкости есть перегородка, отделяющая левую половину от правой, а в перегородке – малюсенькая дверца. Каждый раз, когда с левой стороны коробки к дверце приближается холодная молекула (то есть молекула, которая движется со скоростью меньше средней), очень умный демон открывает дверцу и пропускает молекулу в правую сторону емкости. Точно так же, когда справа приближается горячая молекула, демон открывает дверцу и пропускает молекулу в левую сторону емкости. В остальное время дверца закрыта.

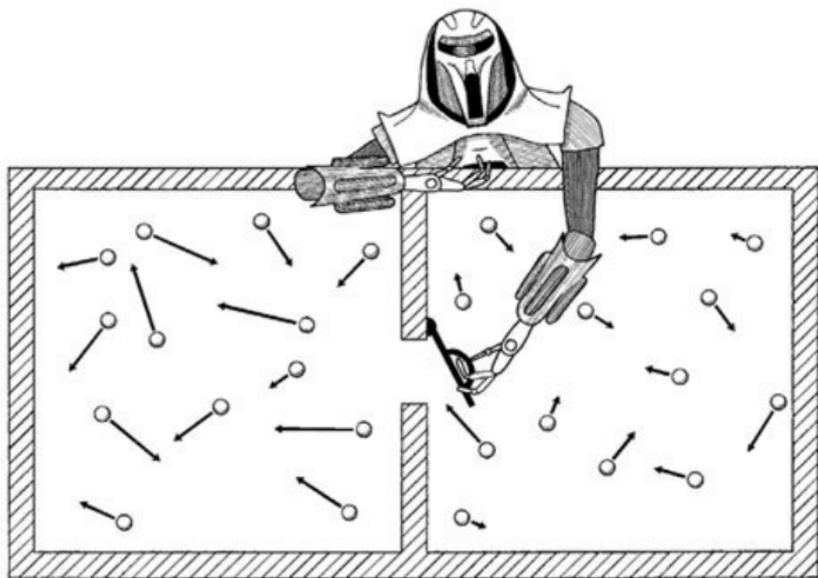
Казалось бы, все очень просто, однако если бы такое было возможно, нам никогда больше не пришлось бы потратить ни цента на кондиционеры. Демон, не покладая рук, трудится над тем, чтобы в емкости с одной стороны было жарко, с другой холодно –

совсем как в «Макдоналдсе».

Впервые я столкнулся с этой задачей, когда учился на старших курсах, и она не произвела на меня ни малейшего впечатления. Молекула туда, молекула сюда – кому это интересно? Кроме того, Второй закон термодинамики по природе своей статистический – так зачем вообще искать в нем лазейку, какой в этом смысл?

Еще какой, мой юный я. Еще какой.

## ***Демон Максвелла***



Вспомним, как *должен* действовать Второй закон: тепло обязано перетекать из жарких областей в прохладные. Для этого и учебник физики, пожалуй, не нужен. Большинство энергии, питающей наши машины, уходит в тепло, вот почему нам нужно постоянно жечь уголь, бензин и природный газ. Если бы мы могли нанять несколько миллионов демонов Максвелла, чтобы превращать тепло обратно в полезную энергию, у нас были бы вечные двигатели!

Я получил вполне достаточно писем от физиков-любителей, где излагались теории, грозившие, по мнению создателей, перевернуть все наши представления о вселенной. Сразу отбрасывать любые гипотезы и проекты, опровергающие Второй закон или предполагающие вечный двигатель – стандартная процедура. А вот Максвеллу положено послабление. Может быть, он и в самом деле открыл потайную дверь к тому, чтобы как-то снизить энтропию во вселенной. Если вы больше не в силах пребывать в напряженном ожидании развязки, не волнуйтесь: Второй закон цел и невредим, но чтобы понять, почему, придется залезть в голову демону.

В 1948 году Клод Шеннон, исследователь из лабораторий Белла, основал научную отрасль под названием «теория информации». Подобно тому как квантовая механика сделала физически возможным су-

ществование современной вычислительной техники, теория информации произвела переворот в криптографии и коммуникациях и сделала возможными новаторские решения вроде Интернета.

Один из главных результатов теории информации состоит в том, что информация тесно взаимосвязана с энтропией. Подобно тому, как энтропия газа описывает количество способов, какими молекулы можно переставить, информация сигнала описывает количество разных посланий, которые можно передать.

Представим себе, что я отправляю послание длиной ровно в две буквы. В принципе, поскольку в английском алфавите 26 букв, я мог бы передать вам  $26 \times 26 = 676$  разных посланий, однако большинство подобных буквосочетаний совершенно бессмысленны. Двухбуквенных слов совсем немного (в словаре для игры в «Скрабл»<sup>33</sup> их 101).

Если среди вас есть специалисты по информатике, отмечу, что это значит, что хотя в принципе для дифференциации *всех возможных комбинаций из двух букв* потребуется около 10 бит (единиц и нулей, используемых для хранения данных), если вы знаете, что передаете слово, достаточно всего 7 бит. Экономия!

Коммуникацию можно значительно сократить, если

---

<sup>33</sup> Русский аналог – «Эрудит». – Прим. перев.

отметить, что некоторые буквы используются гораздо реже прочих. Например, в английском языке E встречается значительно чаще, чем Z. Если играешь в «виселицу», простое знание, что в слове есть Z, резко сокращает число вариантов. Вот почему E в «Скрабле» стоит всего одно очко, а Z – целых десять, и вот почему E в азбуке Морзе обозначается ., а Z – ...

Отстучать Z занимает заметно больше времени, но это не страшно, потому что это приходится делать гораздо реже. Чем сложнее (или непредсказуемее) послание, тем больше информации в нем содержится и тем больше байтов данных потребуется, чтобы хранить его в компьютере.

Что заставляет нас вернуться к демону Максвелла. Давайте уберем из уравнения нейрофизиологию и предположим, что Демон на самом деле какой-то фантастический робот, который хранит свои данные в цифровом виде. Компьютерная память – это последовательность нулей и единиц. Неважно, есть у нас на диске файлы или нет, главное – что существует конечное количество разных комбинаций нулей и единиц, которые можно хранить. Какое именно это число, можно подсчитать, если умножать  $2 \times 2 \times 2 \dots$  – по двойке на каждый бит на диске. Чем больше битов, тем больше разных комбинаций.

Каждый раз, когда демону надо решить, пропус-

кать ли в дверцу очередную молекулу, он измеряет ее скорость и записывает результат. А теперь предположим, что у него есть особый диск, очень маленький, отведенный исключительно для того, чтобы хранить запись скорости молекулы до тех пор, пока не будет принято решение, пропускать ли ее в дверцу. В начале эксперимента все регистры на диске стоят в положении «ноль» – конфигурация с очень низкой энтропией.

С другой стороны, если диск наполнен случайным на вид набором нулей и единиц, там либо содержится уйма информации, либо набор действительно случаен и это просто высокий уровень энтропии.

Однако наш демон начинает с чистого листа.

К дверце подлетает первая молекула, демон измеряет ее скорость, прилежно сохраняет данные на диск и решает пропустить молекулу. Подлетает вторая молекула, но тут – вот досада! – диск оказывается полностью забит данными первого измерения. У демона не остается выхода: приходится стереть первую запись, прежде чем можно будет продолжать работу, и именно тут мысленный эксперимент Максвелла терпит полный крах.

В 1961 году специалист по информатике Рольф Ландауэр сделал одно примечательное наблюдение: если уничтожаешь бит информации, обязательно со-

здаешь эквивалентное количество энтропии во вселенной. Создание и последующее уничтожение записей о движении молекул высвобождает по крайней мере столько же энтропии, сколько демон, как предполагалось, экономил, когда распределял молекулы по скорости. Играя в свои игры с газом, демон на самом деле не снижал общую энтропию во вселенной. Он ее просто перераспределял.

Прежде чем двигаться дальше, стоит посвятить еще несколько минут устройству памяти демона. Мы исходим из предположения, что когда он измеряет скорость молекул или еще что-нибудь, то начинает с чистого листа – то есть, возможно, из конфигурации из всех нулей. Но что если не исходить из такого предположения?

Очевидно, среди всех возможных конфигураций памяти есть некие особые, незаурядные конфигурации. Примерно как буквы в «Скрабле»: про большинство комбинаций из нулей и единиц сразу понятно, что они яйца выеденного не стоят, но все равно можно случайно вытянуть из мешочка буквы, из которых составит настоящее слово. Беда в том, что сгенерированная случайным образом (но при этом в целом осмысленная) последовательность букв на доске выглядит точь-в#точь как настоящее слово, которое кто-то преднамеренно выставил.

Если вы найдете жесткий диск, полный случайных на вид нулей и единиц, то с полным правом предположите, что все эти биты – это настоящие данные, записанные на диск. Подобным же образом, если бы вы были роботом, который прочитал диск и обнаружил сложную последовательность чисел, вы бы предположили, что это настоящие данные. С точки зрения робота, данные на диске – это в точности то же самое, что память, и нет никакой разницы между настоящей памятью, которая сформировалась благодаря опыту, и памятью, которая сформировалась в результате процессов, эквивалентных вытягиванию из мешка случайных фишек с буквами.

Иными словами, мы в целом предполагаем, что любые сложные последовательности, которые записаны у нас в мозгу, на доске для «Скрабла» или в физике вселенной, так или иначе представляют собой точное отражение каких-то реальных событий в прошлом.

Философ Дэвид Альберт выдвинул «Гипотезу прошлого» как *предположение*, что в прошлом энтропия была ниже, чем в настоящем<sup>34</sup>. Если бы мы имели дело с компьютером, это означало бы, что мы начинаем

---

<sup>34</sup> Это и есть предположение. Вполне можно (хотя, мне кажется, неразумно) предположить, что кости динозавра в ваш огород были подброшены кем-то совсем недавно, а не оказались там 65 миллионов лет назад в результате смерти настоящего динозавра.

с обнуления всех регистров, а потом добавляем данные. Если «Гипотеза прошлого» верна, то информация, закодированная в памяти – это реалистическая интерпретация произошедшего в прошлом. Если бы запись на диске компьютера начиналась с состояния высокой энтропии, у нас не было бы ни малейшего представления о том, что там настоящие воспоминания, а что – шум. Чтобы хоть как-то разбираться в прошлом, нам придется предположить, что и мы сами, и вселенная в более широком смысле в начале своего существования пребывали в состоянии крайне низкой энтропии.

А это подводит нас к крайне болезненному вопросу о ранних этапах существования вселенной...

# Почему Вселенная сначала была такая скучная?

Вы сидите в горячей ванне, и сначала вам тепло и уютно, а потом события приобретают неприятный оборот – вода и воздух в ванной комнате приходят в равновесие, и вы ежитесь от холода.

То же самое можно сказать и про будущее вселенной. С течением времени тепло распределяется по вселенной все равномернее. Звезды выгорают, черные дыры в конце концов испаряются, везде царят холод и темнота. Конечным состоянием вселенной будет однородный, невероятно огромный и холодный океан из фотонов.

А как же наше происхождение? Поначалу вселенная была пестрая, состояла из крошечных участков тепла и холода. Однако горячие участки были всего лишь на  $1/100\ 000$  теплее, а холодные – лишь на  $1/100\ 000$  холоднее среднего.

На первый взгляд кажется, будто начало и конец вселенной очень похожи друг на друга, однако я утверждаю, что для конца вселенной характерна низкая энтропия, в то время как в начале энтропия была высокой. Откуда я это взял?

Все дело в гравитации. Начните с совершенно

однородной вселенной и добавьте всего несколько сгустков там, где плотность чуть выше среднего. Оглянуться не успеете, как все близлежащее вещество начнет падать туда, и маленький сгусток станет сгустком побольше.

Энтропия – это просто количество способов, которыми можно перемешать систему так, чтобы на вид она осталась прежней. Как мы видели на примере радиоактивного распада, все хочет достичь состояния минимальной возможной энергии<sup>35</sup>. Когда частицы падают на сгустки, энергия превращается в тепло, а тепло – это всегда энтропия. Крошечные сгустки становятся все больше и больше, энтропия растет, и в результате получаются галактики, звезды и вы.

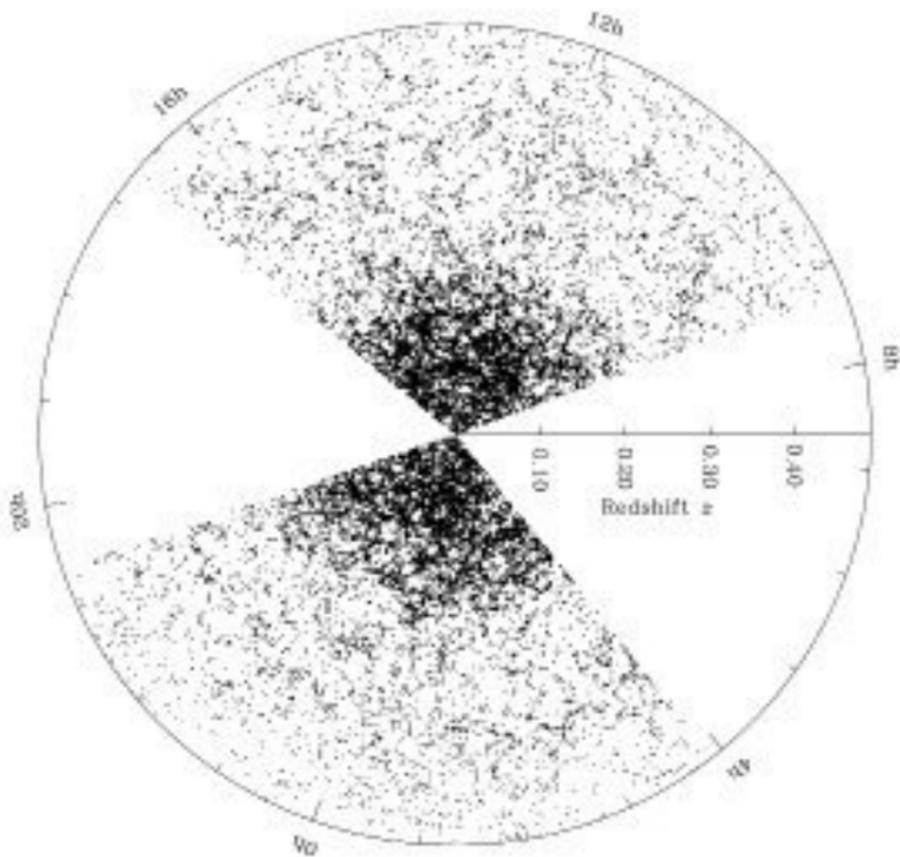
На ранних стадиях существования вселенной, когда все было упаковано гораздо плотнее, гравитация играла куда более важную роль, чем сегодня. Сейчас местная гравитация играет куда более важную роль, чем в далеком будущем. Для вселенной, где правит гравитация (как в начале времен), конфигурация *минимальной* энтропии – это идеально равномерное распределение. В будущем, когда гравитация утратит свою важность, идеально равномерное распределе-

---

<sup>35</sup> А между тем энергию нужно куда-то девать. Первый закон термодинамики гласит, что энергия сохраняется (а еще – что никогда нельзя говорить о термодинамике).

ние – это конфигурация *максимальной* энтропии.

Влияние гравитации особенно хорошо заметно на примере распределения галактик. Начиная с 2000 года в рамках проекта «Слоановский цифровой небесный обзор» (Sloan Digital Sky Survey, SDSS) начали составлять карты почти всей близлежащей вселенной. Были сделаны снимки более ста миллионов галактик и измерены расстояния более чем до миллиона из них. И выяснилось, что налицо отчетливая структура – сгустки, волокна и пустые области (они так и называются – «пустоты», или «войды»). Однако если заглянуть в далекое прошлое (то есть взглянуть на очень далекие области, что одно и то же), окажется, что вселенная заполнена очень равномерно.



Это задача не из легких, она во многом связана с вопросом о том, почему ось времени направлена именно в таком направлении, а не в каком-нибудь другом. Возьмите вселенную в ее нынешнем виде и представьте себе кино, финалом которого было бы нынешнее положение дел. Если пустить кино задом

наперед, все начнется с высокой энтропии, а закончится состоянием низкой энтропии. Иначе никак – законы физики, как мы уже убедились, обратимы во времени.

Сделаем следующий шаг и чуть-чуть изменим нынешнюю вселенную. Переставим там и сям про несколько атомов. Если запустить задом наперед такую слегка измененную вселенную, то мы не придем к «началу» с равномерным распределением. Шансы на то, чтобы обнаружить в начале вселенной состояние низкой энтропии, оказались на диво малы – так же малы, как и вероятность, что вселенная будет развиваться в сторону состояния низкой энтропии.

В таком контексте трудно даже определить, что такое «маловероятно». Обычно, когда мы говорим, что что-то маловероятно, то имеем в виду, что есть какая-то цепочка событий, которая приведет к такому финалу, и основываем вероятность на событиях в прошлом. А у начала вселенной таких событий не было.

Вот такова в общем и целом «гипотеза прошлого». Можно даже представить себе, что это закон природы – не исключено, что у всех вселенных в момент зарождения энтропия низкая. Однако, честно говоря, это не очень утешает. Вопрос пока открыт, но в воздухе витают кое-какие идеи поинтереснее, чем «в са-

мом начале вселенная была с низкой энтропией, потому что так сложилось».

Например, очень может быть, что наша вселенная – не первая. Многие ученые, в том числе физики из Принстона Пол Штейнхардт, Нил Тьюрок и их коллеги, предположили, что у вселенной случаются периоды расширения. В числе свойств так называемого «экипротического сценария»<sup>36</sup> – то, что каждый данный участок вселенной со временем растягивается все сильнее и сильнее. В такой вселенной в целом энтропия не уменьшается, но по мере расширения отдельного участка может несколько разбавиться. Может быть, наша вселенная – всего лишь маленький клочок «множественной вселенной» или «мультиверса» куда больших масштабов, общая энтропия в которой была и остается колоссальной.

Иногда роль множественной вселенной рассматривают с иной точки зрения. Шон Кэрролл, физик из Калифорнийского технологического института, считает, что время – это явление, развивающееся на наших глазах. Он полагает, что течение времени в нашей вселенной и во всех других «пузырьках», составляющих множественную вселенную, – это и есть увеличение энтропии:

---

<sup>36</sup> От греческого слова, которое буквально означает «обращение в пламя» – ничего себе!

Стрела времени – это следствие не того, что «энтропия увеличивается при движении в будущее», а того, что «энтропия при движении времени в одну сторону совсем не такая, как при движении в другую сторону».

Другие ученые пошли даже дальше. Например, голландский ученый Эрик Верлинде утверждает, что даже фундаментальные на первый взгляд феномены вроде гравитации следуют из Второго закона термодинамики и теории струн.

Все это очень интересно, однако в науке подобные идеи не становятся общепринятыми. Лично я отношусь к ним несколько скептически. В следующей главе мы как следует поговорим о множественной вселенной, однако сделать это нам будет не просто отчасти потому, что непонятно, удастся ли нам когда-нибудь подтвердить существование «пузырьковых вселенных» непосредственно данными наблюдений или экспериментов.

Лично я из всего множества доступных вариантов выбираю гипотезу, согласно которой начальное состояние вселенной характеризовалось низкой энтропией просто потому, что так уж вышло. Я уже упоминал, что когда говоришь о начале времен, понятие вероятности теряет смысл, так что когда кто-то говорит, насколько маловероятно, что в начале вселенной эн-

тропия была низка, не вполне понятно, чего следовало бы ожидать. Очень хорошо об этом сказал Ричард Фейнман:

[Низкая энтропия в прошлом] ... предположение вполне разумное, поскольку оно дает нам возможность объяснить факты, данные нашим опытом, и не стоит ожидать, что кто-то сумеет вывести этот опыт из чего-то более фундаментального.

В этом-то и беда: когда говоришь о первоначальных условиях, невозможно вывести никакие законы, поскольку, насколько мы можем судить, начало времен было ровным счетом одно. И хотя  $T$ -симметрия требует, чтобы законы вселенной на микроскопическом уровне были обратимы во времени, нужно, чтобы на закате было всего одно-единственное, уникальное направление к рассвету. Неочевидная симметрия времени ведет нас обратно к началу единственной и неповторимой дорогой.

# **Глава третья.**

## **Космологический принцип**

### **Из которой мы узнаем, почему ночью темно**

Надеюсь, мне удалось донести до вас два обстоятельства. Первое – тупые вопросы, как правило, гораздо умнее, чем кажется на первый взгляд. Второе – очень важно помнить, что мы существа донельзя заурядные. Иначе легко подойти к опасной грани солипсизма. Откуда ты знаешь, что не семи пядей во лбу, если вся вселенная устроена так, чтобы ты сумел в ней зародиться?

Это совсем не (только) шутка. Вообразить себя центром мироздания, и в буквальном, и в переносном смысле легко, очень легко. Выйдите за дверь и поглядите в небо. Солнце, планеты, звезды – все это, судя по тому, что мы видим, вращается вокруг нас. То, чего ждешь от Вселенной, во многом зависит от ощущения собственной важности.

Подобные предположения так глубоко укоренены в нас, что, чего доброго, можно услышать умный вопрос и даже не понять, насколько он умный. Вот, на-

пример, если я спрошу первого встречного: «Почему ночью темно?», первый встречный, скорее всего, рассердится и ответит что-нибудь вроде «Да потому что солнце с другой стороны земли, дурачина!» Так вот, это, во#первых, грубо, во#вторых, неверно. Почему ночью темно, далеко не так очевидно, чем вам кажется. А почему вопрос на самом деле очень глубокий и как на него нужно отвечать, подскажет симметрия.

## Центр мироздания

Для древних в ночной темноте не было ничего непонятного. А все потому, что они совершенно ошибочно представляли себе устройство мироздания. Как я уже упоминал, особенно крупно ошибался во всем, что касается физического мира, Аристотель: и в природе пяти стихий<sup>37</sup>, в устройстве гравитации, а хуже всего – в том, что Солнце вращается вокруг Земли. Давайте лучше скажем, что он внес куда больший вклад в развитие этических категорий.

В каком-то смысле его ошибки были понятны и естественны. В IV веке до нашей эры физика как область науки была еще так неразвита, что Аристотелю пришлось даже придумать ей название – это он ввел в обращение слово «физика» в привычном нам смысле. И к тому же все, что писал Аристотель о материальном мире, *интуитивно* кажется правильным.

Ну, например, тяжелые предметы и правда падают обычно быстрее легких, но это просто потому, что для них сопротивление воздуха относительно менее важно. Когда смотришь на Солнце и звезды, действительно кажется, будто они вращаются вокруг Зем-

---

<sup>37</sup> Земля, вода, воздух, огонь и эфир. Из эфира, по мнению Аристотеля, состоят звезды и небесные сферы.

ли.

Солнце и Земля вращаются по орбитам, центр которых находится примерно в 450 километрах от центра Солнца. В сущности, Солнце, можно сказать, колеблется вокруг этой точки, что часто ускользает от внимания. Солнце, Земля и вся остальная Солнечная система вращаются вокруг центра галактики Млечный Путь, который находится приблизительно в 27 000 световых лет от нас, а вся галактика летает вокруг Сверхскопления Девы – гигантской области, поперечный размер которой превышает 100 миллионов световых лет.

То есть Аристотель был интуитивно прав в одном: вселенной правят скрытые симметрии. В своем трактате «Физика» он пишет:

Вполне основательно выходит, что именно круговое движение едино и непрерывно, а не движение по прямой, так как на прямой определены и начало, и конец, и середина и она все заключает в себе, так что есть [место], откуда начинается движение и где оно кончится (ведь в конечных пунктах, откуда и куда [идет движение], все покоится); в круговом же движении ничто не определено, ибо почему та или иная [точка] будет в большей степени границей на [круговой] линии, чем другая? Ведь каждая [точка] одинаково и начало, и середина

и конец, так что [на окружности] всегда и никогда находишься в начале и в конце. (Пер. В. Карпова)

В окружности и – шире – в сфере есть что-то особенное. Как ни верти, они выглядят одинаково. А по Аристотелю сферическим было все на свете. Неподвижная Земля была идеальной сферой. Она помещалась в центре примерно пятидесяти концентрических сферических оболочек, содержащих Луну, планеты, Солнце, далекие звезды и в конце концов сам «неподвижный двигатель».

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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