

ПИТЕР ЭТКИНС

**В НАЧАЛЕ БЫЛО**

**Н И М**

**Ч Т О**

**ПРО ВРЕМЯ, ПРОСТРАНСТВО,  
СКОРОСТЬ И ДРУГИЕ  
КОНСТАНТЫ ФИЗИКИ**

Космос на ладони. Лучшие книги про Вселенную

Питер Эткинс

**В начале было ничто. Про  
время, пространство, скорость  
и другие константы физики**

«ЭКСМО»

2018

УДК 5  
ББК 20

### **Эткинс П.**

В начале было ничто. Про время, пространство, скорость и другие константы физики / П. Эткинс — «Эксмо», 2018 — (Космос на ладони. Лучшие книги про Вселенную)

ISBN 978-5-04-196126-8

Как расколдовать Вселенную? Для этого достаточно понять, что лежит в ее основе. Питер Эткинс, написавший за свою долгую жизнь не один учебник химии, берется нам в этом помочь. На страницах его книги мы проникнем на территорию механики, термодинамики и электромагнетизма, поразмышляем о роли математики в формулировании законов природы и не без удивления узнаем, что в момент возникновения Вселенной ничего особенного не случилось. В формате PDF А4 сохранен издательский макет книги.

УДК 5  
ББК 20

ISBN 978-5-04-196126-8

© Эткинс П., 2018  
© Эксмо, 2018

# Содержание

Предисловие	6
1	7
2	16
Конец ознакомительного фрагмента.	17

**Питер Эткинс**  
**В начале было ничто. Про**  
**время, пространство, скорость**  
**и другие константы физики**

CONJURING THE UNIVERSE: THE ORIGINS AND LAWS OF NATURE, FIRST EDITION by Peter Atkins

© Peter Atkins, 2018

© Масленников К.Л., перевод на русский язык, 2023

© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2024

*Ведь всякое знание и удивление (которое является зерном знания)  
сами по себе доставляют удовольствие.*

**Фрэнсис Бэкон. О достоинстве и приумножении наук. 1623<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Бэкон Ф. Сочинения. В 2 т. Т. I / Перевод Н. А. Федорова. М.: Мысль (Философское наследие), 1971. 590 с. С. 87–546. (Прим. пер.)

## Предисловие

Некоторые представляют себе, что все в мире управляется поразительно пронырливым и вездесущим, хотя и бесплотным Создателем, активно вникающим в судьбу каждого отдельного электрона, кварка и фотона. Все мое существо инстинктивно восстает против этого нелепо расточительного механизма, а вслед за инстинктом его не приемлет и разум. На страницах этой книги я раздумываю, нельзя ли взглянуть на то, что происходит в мире, проще. В конце концов, дело ученых – добывать простоту из сложности. Они, как правило, предпочитают менее запутанные объяснения. Я исследую самые укромные закоулки на этом пути к простоте и настаиваю на том, что законы природы – итоги наших представлений о движущих силах мира – возникли самым простым из всех возможных способов. Я утверждаю, что они появляются не из чего иного, как из бездействия и анархии, приправленных там и сям крупицей неведения.

Область своих рассуждений я ограничил самым обычным кругом вопросов. Я проведу вас через владения механики (как классической, так и квантовой), термодинамики и электромагнетизма. С несколько меньшей уверенностью, но, надеюсь, все в том же подстегивающем мышлении стиле, я буду вашим проводником в области происхождения фундаментальных постоянных, а в заключение мы поразмышляем о действенности математики в формулировании законов природы и о том, что в математике, возможно, проявляется глубокая структура реальности. То, что я пишу, отчасти представляет собой лишь предположения и догадки, – ведь наука все еще не пришла к полному пониманию природы, несмотря на впечатляющий прогресс, достигнутый за последние три столетия серьезных исследований. Если вам кажется, что некоторым моим высказываниям требуются более глубокие подтверждения, вы найдете их в разделе «Примечания» в конце книги, где я устроил укромный уголок для хранения уравнений.

Надеюсь, что на страницах этой книги я дал ответ на вопросы, которые, возможно, приходили вам в голову, но так и остались нерешенными, и что мои слова откроют для вас поразительную простоту этого восхитительно сложного мира.

*Питер Эткинс Оксфорд, 2017*

# 1

## Назад в вечность

### *Природа законов*

Я должен подготовить ваше сознание к мысли настолько абсурдной, что она может даже оказаться истинной. На протяжении всей истории наука развивается через ряд революций, иногда называемых «сменами парадигмы», когда то, что прежде считалось соответствующим здравому смыслу или просто было господствующим представлением, сменяется чем-то кажущимся ближе к истине. Один из примеров – Аристотель, другой – Коперник.

Сидя в своем мраморном кресле и наблюдая за полетом стрел, Аристотель заключил, что их подталкивают вперед образующиеся за ними завихрения воздуха. А видя, как волы, напрягаясь от усилий, тащат тяжелые повозки, он сделал и более общий вывод: движение необходимо постоянно поддерживать, прикладывая силу. Галилей, а вслед за ним Ньютон, обдумав влияние воздуха на стрелу и грязи на колеса повозки, заменили точку зрения Аристотеля на противоположную: движение продолжается само по себе, без приложения силы; сила нужна, чтобы его прекратить или изменить. Воздух тормозит полет стрелы. Аристотель не мог знать, что в вакууме, где никаких поддерживающих завихрений не образуется, стрела летела бы быстрее. И если бы у него была такая возможность, он бы заметил, что повозке на льду не нужны волы, чтобы двигаться, – ее колеса не вязнут в грязи. Коперник, как всем известно, произвел космическую революцию, – отказавшись от очевидного любому здравомыслящему человеку представления о ежедневном обращении Солнца вокруг Земли и заменив его идеей о центральном неподвижном Солнце, вокруг которого обращается крутящаяся, как волчок, Земля, он кардинально упростил картину мира (что всегда указывает на приближение к истине).

Интеллектуальные революции, случившиеся в начале XX века, – в сравнении с ними меркнут происходившие и тогда же, и столетием раньше политические катаклизмы, – привели к более тонким, но не менее фундаментальным переменам. От привычного представления об одновременности событий пришлось отказаться после 1905 года, когда Альберт Эйнштейн (1879–1955) изменил наши представления о пространстве и времени, слив эти понятия в единое «пространство-время». Время растворилось в пространстве и пространство во времени, причем оказалось, что степень этого растворения зависит от скорости наблюдателя. В переплетенных времени и пространстве движущиеся друг относительно друга наблюдатели неспособны решить, являются ли два события одновременными. Столь фундаментальный пересмотр всей схемы описания наших действий и восприятий мог бы показаться слишком дорогой платой за понимание законов природы, – но и здесь оказалось, что Эйнштейн решительно упростил математическое описание физического мира. Для объяснения явлений больше не нужно было склеивать искусственные конструкции из концепций ньютоновской физики – эти объяснения естественно вытекали из идеи слияния пространства и времени.

Приблизительно в эти же годы новоиспеченная разновидность физиков-теоретиков, занимавшихся теорией квантов, преобразовала физическое мышление и в другом направлении. Эти физики показали, что Ньютон заблуждался и в другом отношении и что даже переход, совершенный Эйнштейном от ньютоновской физики к новой концепции «пространства-времени», в корне ошибочен. Хотя Ньютон и сумел избавиться от представления о том, что какая-то грязь всегда будет мешать движению нашей повозки, он все-таки попал в ловушку крестьянского здравого смысла, согласно которому, чтобы определить путь повозки, необходимо учесть и ее нынешнее положение, и скорость. Классические физики, и даже те, кто уже приспособо-

бился к мысли о том, что мы живем в пространстве-времени, были ошеломлены, когда оказалось, что и от столь очевидного положения придется отказаться. В массовом представлении символом этого отказа стал принцип неопределенности, сформулированный в 1927 году Вернером Гейзенбергом (1901–1976). Согласно этому принципу положение и скорость объекта не могут быть известны одновременно. Казалось, все надежды на понимание природы рухнули, – исчезло то, что принималось за основу всех ее механизмов или по крайней мере за основу их описания. Ниже в этой книге я приведу аргументы против этой точки зрения – я покажу, что принцип Гейзенберга вовсе не лишает нас перспективы понимания и полного описания мира.

Но худшее еще ждало впереди (хотя, как это часто случается с глубокими концепциями, на деле оно было «лучшим», а «худшим» лишь казалось). На уровне здравого смысла всегда можно было без колебаний отличить частицы от волн. Частицы представлялись крохотными твердыми пульками; волны колебались. Но революция, которая до оснований потрясла представления о строении материи, свела эти различия на нет. Одним из первых примеров стало сделанное в 1897 году Дж. Дж. Томсоном (1856–1940) открытие электрона. Он обладал всеми атрибутами частицы, но в 1911 году сын первооткрывателя, Дж. П. Томсон (1892–1975) вместе с сотрудниками показал, что электрон имеет и все признаки волны! Представляю себе, как отец и сын в ледяном молчании сидели друг против друга за завтраком...

Свидетельства накапливались. Оказалось, что луч света, без сомнения, представляющий собой волну электромагнитного излучения, имеет и свойства потока частиц. Частицы начинали двигаться волнообразно при определенных условиях производившихся наблюдений; подобным же образом и волны «собирались» в частицы. Когда в 1927 году окончательно оформилась квантовая механика – в основном благодаря Гейзенбергу, по-монашески уединившемуся на острове, и Эрвину Шредингеру (1887–1961), который, по его собственным словам, жил в это время с любимой женщиной в горах, охваченный любовной страстью, – фундаментальное различие между двумя формами материи было бесповоротно упразднено: в полном противоречии со здравым смыслом за всеми материальными сущностями, начиная с электронов, признавалась двойственная, смешанная природа. Место идентичности захватила двойственность<sup>2</sup>.

Примеры можно было бы продолжать. Чем ярче проявляется глубокая структура мира, тем меньше здравый смысл представляется надежным источником информации. Под здравым смыслом я подразумеваю интуицию, основанную на локальном, неконтролируемом, непреднамеренном извлечении опыта из ежедневного окружения, – в сущности, неперевавленную пищу в отличие от интеллектуального экстракта, полученного в результате коллективной работы многих умов, другими словами, целенаправленного, детального анализа изолированных фрагментов мирового опыта (короче, экспериментов). Все сильнее кажется, что более глубокое понимание приходит при отбрасывании все новых и новых уровней здравого смысла (конечно, с сохранением рациональности). Имея это в виду, – и в надежде, что ваш ум уже подготовлен к отказу от него в обмен на достижение нового уровня понимания, – я собираюсь сейчас распрощаться еще с одним аспектом здравого смысла.

Я хотел бы заявить, что при сотворении мира не произошло ничего особенного. Я знаю, конечно, о захватывающих описаниях, в которых этот момент предстает потрясающе грандиозным, – ведь рождение всего сущего не может не быть драмой космического масштаба. Гигантским всеобъемлющим катаклизмом. Ослепительной вспышкой первичной космической энергии. Взрывом, потрясшим пространство-время до основания. Огненным шаром невероятной мощи, породившим все сущее. Явлением огромного, колоссального масштаба. Само название этого явления, «Большой взрыв», наводит на мысли о событии вселенского уровня. На самом

---

<sup>2</sup> Я всегда был в восторге от книги Макса Джеммера *The conceptual development of quantum mechanics* (McGraw-Hill, 1966; русский перевод: Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1985, 379 с.), в которой подробно и тщательно описывается возникновение этой теории.

деле, однако, Фред Хойл (1915–2001), который придумал этот термин в 1949 году, употребил его в пренебрежительно-насмешливом ключе, – сам он придерживался собственной теории постоянно продолжающегося, непрерывного и незаметного творения, вечного космогенеза, мира без начала, что, естественно, подразумевало и мир без конца. Ныне же «Большой Взрыв» мыслится как колоссальное извержение, заполняющее все пространство и фактически создавшее все пространство и все время. В средоточии огня, из бесконечно малой точки с непредставимо высокой температурой и плотностью родилась вся Вселенная; по мере расширения она превращалась в гораздо более холодную и огромную и наконец стала той, которую мы считаем своим космическим домом. Добавим к этим представлениям модные сейчас теории «эры инфляции», эпохи, когда Вселенная удваивала свой размер за каждую исчезающе малую долю секунды. Буквально в мгновение ока она достигла относительно более умеренной промежуточной стадии расширения, когда температура ее составляла всего несколько миллионов градусов, – а вслед за этим началась и эра, в которой мы живем сегодня.

И это называется «не произошло ничего особенного»? Да, начать думать, что вся эта космическая гиперактивность, энергия, возникновение фундаментальных основ не представляют чего-то значительного, – значит сделать большой шаг. Но потерпите. Я хочу разобраться с этой контринтуитивной идеей. «Ничего особенного не случилось, когда Вселенная обрела существование». Нет, я не отрицаю, что Большой Взрыв был и что он был грандиозным: в пользу этого, так же как и в пользу реальности инфляционной эры, накопилось столько свидетельств, что было бы нелепо отвергать этот сценарий появления протовселенной немного меньше 14 миллиардов лет назад. Я просто предлагаю эти факты переосмыслить.

Мотивация для такого переосмысления состоит в том, что оно может стать шагом к разгадке одной из величайших головоломок бытия: как что-то могло появиться из ничего без постороннего вмешательства. Одна из функций науки – упрощение нашего понимания Природы путем отбрасывания обманчивых признаков. Благоговение перед повседневной сложностью мира сменяется преклонением перед взаимосвязанностью и внутренней простотой всех его проявлений. Изумление перед чудесами мироустройства остается, но дополняется и приумножается радостью открытия лежащей в их основе простоты и присущего этой простоте могущества. Выходит, что гораздо легче осмыслять Природу в свете дарвиновского естественного отбора, чем попросту сидеть сложа руки и поражаться богатству и сложности биосферы: простая идея Дарвина дает основу и рамки для понимания этого богатства, несмотря даже на то, что связанные с этой идеей сложности могут быть капитальными. Так что изумление остается и даже усиливается оттого, что такая простая идея может столь многое объяснить. Эйнштейн упростил наше восприятие тяготения, обобщив свою частную теорию относительности: в свете этого обобщения гравитация интерпретировалась как следствие искривления пространства-времени в присутствии массивных тел. И его «общая теория» представляет собой принципиальное упрощение, хотя уравнения этой теории исключительно трудны для решения. Искореня необязательное и сосредотачиваясь на сути, наука ищет такое положение, из которого она в большей мере способна давать ответы. Выразимся более откровенно: показывая, что при сотворении мира ничего особенного не происходило, мы увеличиваем шансы на то, что наука сможет решить, что же именно происходило в действительности.

Двусмысленность, ловушка моей формулировки заключается, конечно, в словах «ничего особенного». Если уж говорить начистоту, я бы хотел заменить это выражение на «совершенно ничего». То есть я хотел бы констатировать, что при сотворении мира совершенно ничего не случилось и что я могу это утверждение обосновать. Нет действия, значит, нет и действующей силы. Если бы абсолютно ничего не произошло, то науке нечего было бы и объяснять, что, несомненно, упростило бы ее задачу. Оглядываясь назад, мы могли бы даже утверждать, что это было ее успехом! Ведь наука иногда идет вперед, именно демонстрируя бессмысленность заданного ей вопроса, – так отсутствие решения вопроса о том, могут ли движущиеся

наблюдатели договориться об одновременности наблюдаемых событий, привело к появлению специальной теории относительности. И хоть это и не относится к сфере науки, но вопрос о том, сколько ангелов может плясать на кончике иглы, снимается, если можно тем или иным способом показать, что ангелов не существует или хотя бы что они из-за какого-то физиологического или анатомического недостатка плясать вообще не могут. Итак, устранение вопроса может оказаться вполне законным путем получения ответа. Но такой шаг на нынешней стадии нашего рассказа может оказаться слишком решительным. Он будет воспринят как пренебрежение долгом ученого, как жульничество, как типичная научная увертка, – назовите как хотите, но пока что это чересчур, и потому я ограничусь заявлением, что, когда Вселенная обрела существование, не произошло именно «ничего особенного». А позже, в надлежащем месте объясню, чем же все-таки было это «ничего».

\* \* \*

Смысл этого вступления вот в чем. Доказательством, которое я собираюсь представить в пользу тезиса «ничего особенного не случилось», является демонстрация появления законов природы именно из этого акта. Во всяком случае, я докажу, что из того, что в начале времен «ничего особенного не случилось», произошел по крайней мере один класс естественных законов. Мне кажется, это сильный аргумент в пользу моей позиции, – ведь коль скоро мировые механизмы, законы, управляющие поведением мира, вытекают из такой точки зрения, то исчезает необходимость в вычурной и сложной гипотезе о существовании творящей эти законы движущей силы, которую называют обычно богом. Я утверждаю, что законы, которые не возникают из бездействия, появляются из анархии, – когда не действуют никакие законы. Планируя свою аргументацию, я вдруг осознал, что в некоторых случаях анархия может и сама по себе накладывать слишком много ограничений. Но потом мне удалось сохранить мою первоначальную концепцию во всей ее силе: ведь анархии позволяет объединиться с неведением. Вы скоро увидите, что я имею в виду. Настанет даже момент, когда я покажу, что неведение – мощный инструмент достижения знания.

Должен подчеркнуть, что в этой книге я говорю только о физических законах – законах, управляющих материальными сущностями, сферами, планетами, – вообще предметами, – а также неосязаемыми излучениями, фундаментальными частицами и так далее. Я оставляю в стороне моральные законы, создание которых многие все еще приписывают богу, – нет, Богу, с большого «Б», неисчерпаемому, непостижимому, вездесущему источнику всего совершенства, судье добра и зла, утешающего агнцев и прощающего козлиц. Внесу ясность: я исхожу из того, что все биологические и общественные явления проистекают из физических законов. И если бы вам вздумалось добраться до основания моих убеждений, вы бы увидели, что в соответствии с ними все аспекты человеческого поведения пронизаны стремлением к бездействию и анархии. Впрочем, здесь я эту мысль развивать дальше не стану.

\* \* \*

Итак, что же собой представляют законы природы? Что именно я пытаюсь объяснить, раскрывая их происхождение? В широком смысле законы природы – это итог нашего опыта, наших экспериментальных знаний о поведении сущностей. Иногда такой опыт отражается в «народной мудрости» – фольклорных поговорках типа *«чем выше взлетишь, тем больше падать»* или *«кто над чайником стоит, у того он не кипит»*. Но в любой «народной мудрости» всегда есть изъян. Если взлететь с такой скоростью, что окажешься на орбите, то уже не упадешь, сколько ни старайся. И если постоять над чайником подольше, он в конце концов все-таки закипит. Законы природы – это улучшение «народной мудрости», вытяжка из нее.

Они вытекают из наблюдений, производимых в управляемых обстоятельствах, когда явление, которое требуется объяснить, изолируется от мешающих внешних воздействий (например, от грязи на колесах аристотелевой повозки или от воздуха, сквозь который летит его стрела).

Мы считаем законы природы пространственно универсальными и не зависящими от времени. Их повсеместность и, возможно, вечная неизменность означает, что любой закон природы считается справедливым не только в стенах лаборатории, но и на всех континентах, и дальше, за их пределами, во всей Вселенной. Может быть, эти законы перестают действовать в областях, к которым не приложимы концепции пространства и времени, например внутри черных дыр, – но там, где пространство и время к ним благосклонны, законы, верные здесь и сейчас, будут верны везде и всегда.

Законы устанавливаются в лабораториях, занимающих несколько кубометров, но считаются применимыми ко всей Вселенной. На выработку их формулировок уходит время, сравнимое с продолжительностью человеческой жизни, но мы уверены, что они действуют на промежутках времени, примерно равных вечности. Для такой уверенности есть кое-какие основания – и все же надо проявлять некоторую осторожность и не отдаваться им совсем уж беззаветно.

На микроскопически малых масштабах непосредственного человеческого опыта, за крохотную часть времени существования Вселенной и в исчезающе маленькой доле ее объема законы природы оказываются неизменными, где бы и когда бы мы их ни проверяли, – по крайней мере, в пределах Земли. На масштабах, превышающих границы человеческого опыта, эти законы проверяются благодаря способности астрономов наблюдать явления на громадных расстояниях от Земли, в других галактиках и соответственно в глубоком прошлом. Если только на огромных расстояниях в пространстве и во времени отклонения от законов каким-то загадочным образом не компенсируют друг друга ровно настолько, чтобы сбить нас с толку, мы можем сказать, что никаких отклонений от установленных на Земле законов во Вселенной не зарегистрировано. И раз этого не происходило за те краткие миллиарды лет, что остались в прошлом, нет никаких причин подозревать, что ныне действующие законы изменятся и за похожее время в будущем. Конечно, вполне может случиться, что в течение следующих нескольких триллионов лет, – а может, и завтра в полночь – ныне скрытые от нас измерения пространства-времени, которые, как некоторые подозревают, таятся в его глубинах, вдруг развернутся, объединившись с горсточкой привычных нам измерений, и изменят избитую реальность нашего мира до полной неузнаваемости. Этого мы не знаем. Но в один прекрасный день – такова сила законов природы – мы, возможно, сможем это предсказать на основе тех законов, которые выводим сегодня. Ибо законы природы несут в себе и зародыш своей отмены.

Почти все – но не все – законы представляют собой приближения, даже когда они касаются сущностей, изолированных от внешних и случайных воздействий (той самой грязи). Позвольте указать здесь на одну историческую фигуру и на первый из ряда малых и простых законов, которые я буду использовать, чтобы иллюстрировать свои мысли. (Позже я укажу на различие между «большими» и «малыми» законами; этот закон относится к числу малых.) Роберт Гук (1635–1703), очень умный, изобретательный и трудолюбивый ученый, предложил закон, относящийся к растяжению пружин<sup>3</sup>. Как было принято в те времена, он записал свой закон в виде анаграммы – это делалось, чтобы «застолбить» свой приоритет, но при этом выиграть время на изучение следствий из сделанного открытия, не опасаясь, что тебя кто-то обгонит и опубликует тот же результат раньше. И вот в 1660 году Гук опубликовал загадочную шифровку *ceiinoossttuv* – как впоследствии оказалось, она значила *Ut tensio, sic vis*<sup>4</sup>. На более пря-

---

<sup>3</sup> Согласно закону Гука,  $F = -k_f x$ , где  $F$  – возвращающая сила,  $x$  – смещение от точки равновесия («пружина в состоянии покоя») и  $k_f$  – характеристика пружины: постоянная взаимодействия, или жесткость. У жесткой пружины эта постоянная велика. Больше об этом в главе 6.

<sup>4</sup> В переводе с латинского – «каково растяжение, такова и сила», т. е. «растяжение пружины пропорционально приложенной силе». (Прим. перев.)

мом языке сегодняшнего дня закон Гука утверждает, что возвращающая сила (сила упругости), возникающая в пружине, пропорциональна тому, на сколько линейных единиц эта пружина растянута или сжата. Закон очень хорошо описывает поведение не только реальных пружин, но и действующих по тому же принципу связей между атомами и молекулами; у него оказалось несколько удивительных следствий, о которых совершенно не подозревали ни сам Гук, ни даже его современник Ньютон. И однако же этот закон является всего лишь приближением, – если пружину растянуть на очень большое расстояние, пропорциональность между силой и растяжением нарушится, даже если вы остановитесь прежде, чем пружина лопнет: *ceiinnnoossttuv*. Тем не менее, если не забывать о том, что закон Гука работает только для малых растяжений, он вполне адекватен.

Но законы могут быть и точными. Например закон сохранения энергии, который состоит в том, что энергия не может быть создана или уничтожена: она может только переходить из одной формы в другую, но общее количество энергии, которое есть у нас на сегодняшний день, останется таким же навеки и всегда было таким в прошлом. Этот закон имеет такую силу, что на его основании можно совершать открытия. В 1920-х было замечено, что при ядерном распаде определенного вида энергия как будто не сохраняется. И так как явление было совершенно новым и неизученным, появилось предположение, что это и вправду так. Альтернативная точка зрения, предложенная в 1930 году австрийским физиком-теоретиком Вольфгангом Паули (1900–1958), заключалась в том, что энергия сохраняется, но часть ее уносится пока неизвестными частицами. Это предположение стимулировало поиски таких частиц, и в итоге была зарегистрирована новая элементарная частица – нейтрино. Как мы еще увидим, закон сохранения энергии глубочайшим образом связан с самим фактом познаваемости Вселенной – в нем коренится принцип причинности, сама идея, что одно событие может быть причиной другого. Потому этот закон, по сути, лежит в основе всех объяснений. Для нашего последующего повествования он будет значить очень много.

Есть много других законов, которые выглядят похожими по статусу на закон Гука (то есть являются приблизительными и приносят большую практическую пользу, помогая нам делать предсказания и понимать поведение материальных тел). Много и таких, которые напоминают закон сохранения энергии (не являются приблизительными, но глубоко связаны со структурой объяснения и понимания). Это подсказывает мне, что можно разделить все законы на два класса, которые я назову внутренними и внешними («внезаконами»). Внутренние законы – это очень глубокие структурные закономерности Вселенной. Они – ее первичное законодательство, фундамент ее понимания, ее краеугольный камень. Закон сохранения энергии – по моему убеждению, внутренний закон, и, хоть я говорю это не без колебаний, он, возможно, порождает все остальные внутренние законы. Внешние законы – «внезаконы», такие как закон Гука и другие, с которыми мы вскоре познакомимся, – младшие родственники внутренних. Это подзаконные «нормативные акты», лишь немногим отличающиеся от простых уточнений внутренних законов. Мы не можем обойтись без них, и во многих случаях именно их открытие, применение и интерпретация двигают вперед науку. Но они лишь капралы армии, во главе которой стоят полководцы.

Мне надо привлечь ваше внимание к одной особенной разновидности законов: к законам, которые совершенно ни к чему не применимы и все-таки очень полезны. Это маловразумительное высказывание надо объяснить. Как я уже сказал, «внезаконы» обычно являются приближенными. Однако в некоторых случаях это приближение становится все точнее и точнее по мере того, как материала, для описания которого этот закон предназначен, остается все меньше и меньше. Если мы доведем эту уменьшающуюся прогрессию до ее предела, мы увидим, что закон сделался практически точным (а возможно, и идеально точным), когда количество описываемого им материала обратилось в нуль. Здесь мы имеем дело с так называемым предельным законом – он достигает полной точности в пределе, в котором описывать уже нечего.

В том виде, в каком я это представил, получается, будто такой закон не имеет смысла, – он применим только при отсутствии своего предмета. Но вы скоро убедитесь, что «предельные законы» имеют огромную ценность – они как бы помогают соскрести «грязь» с деталей своего собственного механизма. Я на примере поясню, что имею в виду.

Около 1660 года в своей мастерской-лаборатории неподалеку от оксфордской Хай-стрит (там, где теперь находится Университетский колледж, но, может быть, и на нынешней территории моего собственного Линкольн-колледжа) англо-ирландский аристократ Роберт Бойль (1627–1691) занимался исследованиями «упругости воздуха» – его сопротивления сжатию. К этому его, возможно, подтолкнули предложения его усердного ассистента Ричарда Таунли и сотрудничество с уже упоминавшимся здесь вездесущим и всезнающим Робертом Гуком. Бойль установил закон природы, по-видимому, управлявший поведением газа, известного нам как воздух <sup>5</sup>. А именно, он обнаружил, что для данного количества воздуха произведение создаваемого этим воздухом давления на занимаемый им объем постоянно. Увеличим давление воздуха – объем уменьшится, но произведение давления на объем останется тем же, что и было. Снова увеличим давление – и снова та же история, объем уменьшается, произведение сохраняется. Таким образом, закон Бойля (который французы называют законом Мариотта) состоит в том, что произведение давления газа на его объем для данного количества газа всегда постоянно. Сейчас мы бы еще добавили, что при этом температура газа тоже должна быть постоянной.

Закон этот, на практике, приближенный. Добавьте еще газа, и он будет выполняться хуже. Откачайте часть газа, и соответствие закону улучшится. Откачайте еще, и дела пойдут еще лучше. Откачайте почти весь газ – теперь закон выполняется почти идеально. Вы поняли, к чему я веду: откачайте все до конца, и закон станет точным. Таким образом, закон Бойля есть «предельный закон», точно выполняющийся, когда газа настолько мало, что его, можно считать, нет вообще.

В этой связи я должен отметить две вещи. Во-первых, мы теперь, в отличие от Бойля, понимаем, почему точность выполнения закона увеличивается при уменьшении количества вещества. Бойль и не мог этого понимать: он еще не знал о существовании молекул. Не стану углубляться в подробности, но по сути отклонения от точного выполнения закона Бойля обусловлены взаимодействиями между молекулами. Когда количество газа невелико и его молекулы далеко друг от друга, взаимодействиями между ними можно пренебречь – они движутся хаотически и независимо друг от друга (кстати, слова «хаос» и «газ» этимологически родственны – происходят от одного и того же греческого корня). Эти взаимодействия и есть внутренняя «грязь», которую устраняет уменьшение количества вещества и которая мешает увидеть чистый идеал хаоса.

Вторая вещь тесно связана с первой, но более важна. «Предельный закон» выявляет свойства субстанции, а не «грязи», которая налипает на нее, пока та пробирается сквозь реальность. Закон Бойля говорит о сущности идеальной «газовости», устраняясь от взаимодействий между молекулами, которые для газов, встречающихся в реальной действительности, так называемых реальных газов, только запутывают картину. «Предельный закон» – отправная точка для понимания природы субстанции как таковой, свободной от влияния налипающих на нее подробностей, которые только отвлекают и путают. «Предельные законы» выявляют идеальную сторону поведения материи; они будут отправной точкой и для многих наших исследований в этой книге.

---

<sup>5</sup> Одна из форм закона Бойля – закон Бойля при постоянной температуре,  $V \propto 1/p$ , где  $V$  – объем, занимаемый газом при давлении  $p$ . Из него следует, что произведение  $pV$  постоянно для данного количества газа при постоянной температуре. Больше об этом в главе 6.

Еще один важный, изначально присущий законам природы аспект состоит в том, что некоторые из них по сути своей математические, а другие вполне адекватно выражаются словами. Когда по ходу изложения мне понадобится обосновать мою мысль уравнением, я буду помещать его в разделе «Примечания» в конце книги, где его смогут найти те, кто любит смотреть, как работает скрывающийся за словами механизм. Преимущество законов, имеющих математическое выражение (наиболее яркий пример – уравнения общей теории относительности Эйнштейна), в том, что математика увеличивает точность физической аргументации. Чтобы заменить математическую формулировку, мне придется приложить все усилия в попытке выразить суть этой аргументации словами. Можно утверждать, что извлечение из уравнения вербального содержания, его физической интерпретации составляет существенную часть понимания его значения. Другими словами, возможно, что обходиться без уравнений – это более глубокая форма понимания.

Не все законы природы математические, но даже те, которые таковыми не являются, приобретают большую силу, когда находят математическое выражение. Один из самых глубоких вопросов, которые можно задать о законах природы, кроме вопроса об их происхождении, это почему математика оказывается столь совершенным языком описания Природы. Почему реальный мир явлений так хорошо изображается с помощью высшего продукта человеческого мышления? Я исследовал этот вопрос в другом месте, но он очень важен для нашего восприятия и понимания мира, и я вернусь к нему позже (в главе 9). Подозреваю, что все истинно глубокие вопросы, касающиеся природы физической реальности (единственной реальности, за исключением изобретаемой поэтами), такие как эффективность математики в качестве описания Природы, вероятно, имеют ответы, тесно связанные каким-то общим источником, и должны рассматриваться как единое целое.

\* \* \*

Заканчивая, я должен сказать еще несколько слов о «служанках» законов природы. Как я уже говорил, закон – это итог наблюдений за поведением сущностей. Закон выводится двумя этапами. Сперва можно предложить гипотезу. Гипотеза (на древнегреческом это слово означает «фундамент», в чисто строительном смысле) – это просто догадка о скрытой причине наблюдаемого поведения. Она может подтверждаться другими наблюдениями и постепенно перерасти в теорию (по-гречески – «размышление в союзе с созерцанием»; это слово одного происхождения с «театром»).

Теория – это полностью сформировавшаяся гипотеза, основания которой могут корениться в других источниках знания, и сформулированная таким образом, что может быть протестирована сравнением с дальнейшими наблюдениями. Во многих случаях теория включает в себя предсказания, которые затем подлежат проверке. Часто теория находит математическое выражение, и из нее выводятся следствия – методом логической дедукции и манипуляции символами (определенным образом интерпретируемыми). Если на любой стадии своего развития гипотеза или теория вступает в конфликт с наблюдениями, она возвращается на доработку, – появляется новая гипотеза, которая развивается в новую теорию.

Хоть я и описал эту процедуру, – за циклом наблюдений следует гипотеза, созревающая в теорию, а теория затем проверяется опытом, – как некий алгоритм, которому следуют ученые, на практике все несколько иначе. Научный метод – царство свободного творчества, и на ранних этапах постижения неизвестного важную роль играет интуиция, «нутро». Ученые вынюхивают истину, делают непредсказуемые интеллектуальные прыжки в сторону, конечно, ошибаются, выхватывают идеи друг у друга из рук, кое-как выкарабкиваются из трясины непонимания и наконец как бы случайно видят впереди свет. Это и есть реальный научный метод, как бы его ни идеализировали философы науки.

Такая идеализация похожа на «предельный закон» – она представляет суть научного метода очищенной от человеческой «грязи», как человеческую деятельность, осуществляемую в идеальном предельном случае отсутствия самих людей вместе со всеми их недостатками и слабостями. Но при всей важности и сложности устройства плавильного тигля научной процедуры главным критерием приемлемости теории почти неизменно остается сравнение ожидаемых ее результатов с экспериментальными наблюдениями. Как однажды сказал Макс Планк, «единственным средством познания для нас остается опыт: все остальное – спекуляции».

В некоторых случаях происходят резкие отклонения от идеального пути рождения теории. Одна из самых мощных научных теорий – теория эволюции Дарвина, построенная на идее естественного отбора. В формулировках этой выдающейся теории нет математики, но ее влияние было усилено позднейшей математической разработкой. Я не уверен, что эта теория основана на законе природы. Она, без сомнения, построена на наблюдениях – исследованиях ископаемых окаменелостей и разнообразия видов, но эти наблюдения, возможно, сами по себе слишком разнородны, чтобы их можно было обобщить в сжатой формулировке закона, более отчетливой, чем афоризм Герберта Спенсера «выживает самый приспособленный» (в его *Principles of biology*, 1864), или, напротив, менее запутанно и косноязычно, чем «распространяются те организмы, которые достигают репродуктивного успеха во временно доступных им нишах». Этот закон, конечно, по нашей классификации следовало бы отнести к категории могучих внутренних законов.

\* \* \*

Теперь у нас есть фон для того, что должно последовать далее. Я показал, что существуют внутренние и внешние законы: законы огромной важности и менее важные. Моей первой задачей будет привести примеры законов каждого вида, исследовать их и разобраться, откуда они происходят. Я заявляю, что буду искать их корни в бездействии, том самом, из-за которого при сотворении мира ничего особенного не произошло; а там, где это сделать не удастся, – в анархии, которая за этим последовала. В некоторый момент повествования вам придется отправиться со мной в умозрительный полет, целью которого будет открытие источника способности математики объяснять физическую сущность реального мира, – но до этого момента еще далеко.

## 2

### **Много шума из ничего**

#### *Как из ничего возникают законы*

Ничто необычайно плодотворно. В его бесконечном охвате потенциально находится все, но «все» таится там полностью нереализованным. Такие рассуждения выглядят загадочными не случайно: на этой стадии повествования я хочу привлечь ваше внимание и возбудить любопытство. Это, возможно, напоминает заимствованное из индийской философии столь же бесспорное, сколь и неудовлетворительное определение бытия как отсутствие небытия. Чтобы меня не постригли под эту гребенку, я должен развить свое высказывание и проиллюстрировать плодотворную потенцию «ничего», показать, что рассматривать ничто – не упражнение в пустословии, схожее больше с теологией, чем с физикой, дать понять, что в рамках научного метода из ничего могут быть получены проверяемые выводы, и заставить вас поверить, что его загадку можно раскрыть, а ее содержание представить вполне значимым. Я хочу показать, что ничто есть центральная идея, основа возможности понимания законов природы, и поэтому оно есть все существующее и все действующее. Короче, я хочу показать, что ничто есть фундамент всего.

## **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.