



# СОДЕРЖАНИЕ

Введение. . . . .	8
Пролог. Невозможное свершилось . . . . .	21

## Часть I

### Философия умиротворения

1. Мера всех вещей . . . . .	27
2. Прогнило что-то в датском королевстве . . . . .	41
3. Уличная потасовка . . . . .	78
4. Копенгаген на Манхэттене. . . . .	112

## Часть II

### Квантовые диссиденты

5. Физика в изгнании . . . . .	161
6. Оно из другого мира!. . . . .	211
7. Глубочайшее научное открытие . . . . .	252
8. «Есть многое на свете, друг Горацио...» . . . . .	294

## Часть III

### Великая задача

9. Подземная реальность . . . . .	351
10. Квантовая весна . . . . .	400
11. Копенгаген против Вселенной. . . . .	442
12. Под ударами судьбы. . . . .	483

Приложение. Четыре взгляда на очень странный эксперимент . . . . .	524
Благодарности. . . . .	533
Иллюстрации. . . . .	538
Список источников. . . . .	540
Библиография . . . . .	544

Посвящается Элизабет, которая всегда **знала**

Автор благодарит Фонд Альфреда Слоуна за поддержку в исследовательской работе и в написании этой книги.

Самый несомненный факт может вызвать и недоверие, и всеобщее признание — все зависит от того, как о нем рассказать.

**Урсула Ле Гуин**

# ВВЕДЕНИЕ

**В**ещи в повседневной жизни раздражают тем, что не могут оказываться в двух местах одновременно. Если вы оставите ключи в кармане пальто, они не появятся еще и на крючке у входной двери. Это неудивительно — у вещей нет никаких тайных способностей или добродетелей. Они совершенно обычные. И все же хорошо известные нам предметы содержат в себе неизведанные вселенные. Та же связка ключей представляет собой временный союз триллиона триллионов атомов, каждый из которых миллиарды лет назад родился в недрах умирающей звезды, а затем попал на горячую формирующуюся Землю. Эти атомы купались в яростных лучах молодого Солнца. Они свидетели возникновения жизни на нашей планете и всей ее истории. В атомах есть нечто эпическое, и, как у большинства эпических героев, у них есть и проблемы, которых нет у обычных существ. Мы, люди, — рабы привычек, мы занудно упорствуем в том, чтобы в каждый момент занимать только одно положение в пространстве. Но атомы склонны к причудам. Вот в лаборатории одиночный атом, следуя своим маршрутом, оказывается на развилке, где может повернуть налево или направо. Однако,

## ВВЕДЕНИЕ

вместо того чтобы выбрать что-нибудь одно, как сделали бы мы с вами, атом словно впадает в сомнения, не в силах решить, где ему быть и где не быть. И в конце концов наш Гамлет ростом с нанометр выбирает оба пути сразу. Нет, он не раздваивается, не проходит сначала одним путем, а потом другим — он идет по обоим одновременно, презирая все законы логики. Атомы не подчиняются правилам, которым подчиняемся и мы с вами, и принцы датские. Атомы живут в другом мире, где управляет другая физика, — в субмикроскопическом мире квантов.

Квантовая физика — физика атомов и других сверхмалых объектов, таких как молекулы и субатомные частицы, — самая совершенная из всех научных теорий. Она предсказывает поразительное многообразие явлений с невообразимой точностью. Ее влияние простирается далеко за пределы микромира — мы ощущаем его и в повседневной жизни. Открытые в начале XX века законы квантовой физики прямо привели и к кремниевым транзисторам внутри вашего телефона, и к светодиодной матрице его экрана, и к ядерным двигателям для дальних космических экспедиций, и к лазерным сканерам кассы супермаркета. Квантовая физика объясняет, почему светит Солнце и как видят наши глаза. Она лежит в основе всей химии и периодической системы элементов. Она объясняет даже, каким образом сохраняют свою целостность твердые тела, например стул, на котором вы сидите, или ваши собственные кости. Все это сводится к свойствам микроскопически малых объектов, ведущих себя очень странным образом.

Но кое-что все же вызывает беспокойство. Квантовая физика, похоже, неприменима для описания людей и вообще

## ВВЕДЕНИЕ

всего, что близко по масштабу к человеку. Наш человеческий мир — это мир связок ключей, мир обычных предметов, которые не могут находиться сразу в двух местах. Но ведь все эти обыкновенные вещи состоят из атомов: и вы, и я, и принцы датские. А атомы, как мы уже знаем, подчиняются именно квантовой физике. Как же это выходит, что физика атомов так поразительно отличается от физики сделанного из тех же атомов обычного мира? Почему квантовая физика работает только в мире сверхмалых масштабов?

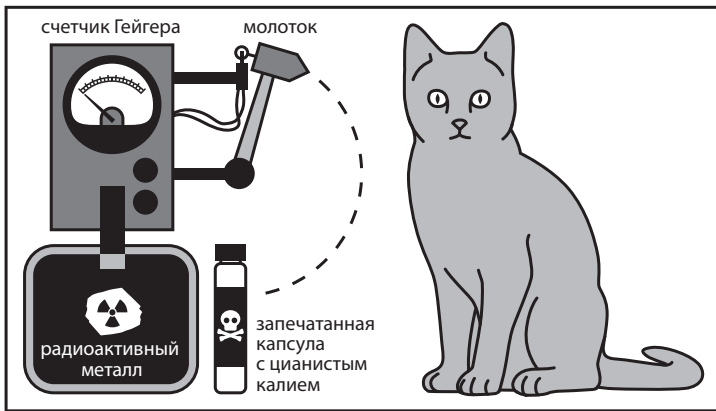
Дело не в какой-то сверхъестественности квантовой физики. Мир полон чудес, и в нем всегда есть место таинственному. Но в повседневной жизни мы не видим никаких странностей, свойственных миру квантов. Почему? Может, квантовая физика — это и вправду физика очень малых объектов, а к большим телам она неприменима? Может, где-то есть некая граница, рубеж, за которым квантовая физика уже не действует? Но если так, где эта граница и что на ней происходит? А если такого рубежа не существует, если законы квантовой физики так же действуют на нас, как они действуют на атомы и субатомные частицы, то почему квантовая физика так разительно противоречит нашему повседневному опыту? Почему наши ключи не могут находиться одновременно в двух местах?



Восемьдесят лет назад эти вопросы глубоко волновали одного из основателей квантовой физики, Эрвина Шрёдингера. Чтобы объяснить коллегам-физикам, что его

## ВВЕДЕНИЕ

беспокоит, он придумал ныне знаменитый мысленный эксперимент с «котом Шрёдингера» (рис. В.1). Шрёдингер представил себе, что кота посадили в ящик с запечатанной капсулой цианистого калия и подвешенным над ней маленьким молоточком. Этот молоток, в свою очередь, связан со счетчиком Гейгера, регистрирующим радиоактивность и направленным на кусочек радиоактивного металла в капсуле. Эта адская машинка приводится в действие в тот момент, когда металл испускает излучение. Как только это произойдет, счетчик Гейгера сработает, молоточек упадет, разобьет капсулу и убьет беднягу кота.



**Рис. В.1.** Кот Шрёдингера. Когда металл испускает радиоактивное излучение, счетчик Гейгера регистрирует его и отпускает молоток. Капсула разбивается, и цианистый калий убивает кота

Внимание Общества защиты животных: у Шрёдингера и мысли не было о том, чтобы на деле провести этот опыт!



## ВВЕДЕНИЕ

Шрёдингер предложил просто вообразить, что мы на некоторое время оставляем кота в ящике, затем открываем крышку и узнаём, что случилось с котом.

Кусочек металла испускает субатомные частицы, с большими скоростями вылетающие из атомов при их распаде. Как и все достаточно маленькие объекты, эти частицы подчиняются законам квантовой физики. Субатомные частицы металла Шекспира не читали, а вот панк-группу Clash, видимо, слушали. В каждый отдельно взятый момент они не знают, что им делать — оставаться на месте или вылететь из атома, и поэтому они делают и то и другое: внутри закрытого ящика «нерешительный» кусок радиоактивного металла одновременно излучает и не излучает.

Из-за такого поведения частиц-панков счетчик Гейгера и будет, и не будет регистрировать излучение, молоток и упадет, и не упадет на капсулу, которая и разобьется, и нет — а значит, кот будет одновременно и мертв, и жив. И это, по мнению Шрёдингера, было серьезной проблемой: может, атомы и могут находиться в двух местах сразу, но кот точно может быть либодохлым, либо живым. Мы убедимся в его состоянии в тот же миг, как откроем крышку, а значит, логично заключить, что и до ее открытия кот должен был находиться в том же состоянии.

Многие из современников Шрёдингера оспаривали его аргументацию именно в этом пункте. Некоторые заявляли, что до открытия крышки кот находится в состоянии «и жив, и мертв» и, только заглядывая внутрь ящика, мы каким-то образом переводим его в состояние жизни

## ВВЕДЕНИЕ

или смерти. Другие считали, что, пока мы не открыли ящик, говорить о том, что происходит внутри него, вообще бессмысленно, так как внутренность закрытого ящика по определению ненаблюдаема, а только наблюдаемые и измеримые вещи имеют смысл. Для них говорить о ненаблюдаемых вещах было так же бесполезно, как спорить о том, издает ли треск падающее в лесу дерево, если нет никого, кто этот треск мог бы услышать.

Но эти аргументы Шрёдингера не убедили и не успокоили. Он считал, что его коллеги упустили из виду одну вещь: квантовой физике недостает важной составляющей, которая связала бы ее с обычным миром. Каким образом фантастическое количество атомов, управляемых законами квантовой физики, порождает мир, который мы видим вокруг? Что на самом фундаментальном уровне является реальностью и как эта реальность обнаруживается?

В этом споре оппоненты Шрёдингера победили. От его вопросов о том, что же в действительности происходит в квантовом мире, они попросту отмахнулись, и физика продолжала двигаться вперед.



Шрёдингер оказался в меньшинстве, но все же он не был одинок. Альберт Эйнштейн тоже хотел понять, что происходит в мире квантов. Он спорил о природе квантовой физики и реальности с Нильсом Бором, великим датским физиком. Спор Эйнштейна с Бором вошел в историю

## ВВЕДЕНИЕ

физики. Обычно говорят, что его выиграл Бор, что сомнения Эйнштейна и Шрёдингера оказались беспочвенными и что проблемы реальности в квантовой физике не существует потому, что реальность — это вовсе не то, о чем следует думать в первую очередь.

И все же нет сомнений в том, что квантовая физика сообщает нам нечто о реальном мире. Иначе как она могла бы вообще работать, описывать действительность? Было бы крайне трудно объяснить ее огромные успехи, если бы она не имела никакого отношения к реальному миру. Даже если считать, что любая теория — это всего лишь модель, это все-таки модель чего-то реального, а если она работает, то это модель хорошая. Должно быть **нечто**, составляющее предсказания квантовой физики неизменно выполняться с феноменально высокой точностью.

Понять, что именно рассказывает нам квантовая физика о мире, оказалось нелегко. Отчасти это связано с необыкновенной странностью ее теории. Чем бы ни был квантовый мир, он нисколько не похож ни на что знакомое нам. Противоречивая природа квантовых объектов — атомы, которые одновременно находятся и здесь, и там, излучение, которое и испускается, и остается скрытым в своем источнике, — это далеко не единственный диковинный аспект квантовой теории. Есть еще мгновенные связи между находящимися на большом расстоянии объектами: связи тонкие, бесполезные для целей прямой передачи информации, но неожиданно весьма ценные для задач, связанных с вычислениями и кодированием. А верхнего предела размеров объектов, на которые распространяются законы квантовой физики, нащупать никак не удается!

## ВВЕДЕНИЕ

Чуть ли не каждый месяц физики-экспериментаторы придумывают всё новые хитроумные устройства, в которых странные квантовые явления обнаруживаются в объектах все большего и большего масштаба. Тем серьезнее выглядит вопрос о том, почему эти странные явления никак не наблюдаются нами в повседневной жизни.

Странные квантовые явления и их отсутствие в обычном мире не единственная и даже не самая большая загадка, которую надо разгадать, чтобы расшифровать заключенное в квантовой физике послание. Ни один физик не сомневается: квантовая физика работает. И тем не менее уже девяносто лет, с тех самых пор, как появилась эта теория, о ее значении ожесточенно спорят. В этом споре позиция большинства физиков, включая, видимо, и Бора, заключается в том, что они настойчиво отрицают существование самого предмета спора. Ученые заявляют, что, несмотря на феноменальный успех теории, сама постановка вопроса о том, что происходит в мире квантов, в некотором смысле неприемлема и ненаучна. Эта теория, по их мнению, не нуждается в интерпретации: то, что она описывает, не является истинной реальностью. И действительно, странность квантовых явлений заставила некоторых выдающихся физиков прямо утверждать: да, ничего не поделаешь, квантовая физика доказала, что микроскопические объекты просто не существуют в том смысле, в котором существуют объекты нашего повседневного мира<sup>1</sup>. Следовательно, говорят они, в квантовой

---

<sup>1</sup> Werner Heisenberg 1958, *Physics and Philosophy*, Harper Torchbooks ed. (Harper and Row), p. 129. — *Здесь и далее примечания автора, если не указано иное.*

## ВВЕДЕНИЕ

физике невозможно говорить о реальности. В реальном мире нет, да и не может быть ничего, что соответствовало бы этой теории.

Популярность такого подхода к квантовой физике удивительна. Физика описывает окружающий нас мир. Ее цель — выявить фундаментальные составляющие Вселенной и законы их взаимодействия. Многих физиков привело в науку именно желание понять основные, глубинные свойства природы, увидеть, из чего складывается ее удивительная мозаика. Но как только дело касается квантовой физики, большинство физиков тут же категорически отказываются от каких-либо объяснений; вместо этого они, как выразился Дэвид Мермин, требуют просто «заткнуться и вычислять»<sup>1</sup>.

Еще удивительнее то, что этот преобладающий подход снова и снова доказывает свою несостоятельность. Вопреки устоявшемуся среди физиков мнению, в историческом споре с Бором явное преимущество осталось за Эйнштейном — он убедительно показал, что в самой основе квантовой физики имеются глубокие противоречия, требующие разрешения. И просто отбросить вопрос о реальности как «ненаучный», как делали некоторые оппоненты Шрёдингера, — позиция неубедительная и основанная на устаревшей философии. Среди глухого к этому вопросу большинства находились-таки «возмутители спокойствия», которые разработали альтернативные подходы к квантовой физике. Они сумели растолковать,

---

<sup>1</sup> N. David Mermin 1990, *Boojums All the Way Through: Communicating Science in a Prosaic Age* (Cambridge), p. 199.

## ВВЕДЕНИЕ

что происходит в этом мире, нисколько не жертвуя точностью теоретического описания.

Такие альтернативы показывают: идея о том, что в квантовой физике не может существовать понятия реальности, ложна. И все-таки большинство физиков по-прежнему в той или иной форме придерживаются этой идеи. Ее по-прежнему преподают в школах, популяризаторы рассказывают о ней публике. Даже когда вспоминают об альтернативных подходах, о них вспоминают именно как об альтернативах тому, что считается верным по умолчанию, невзирая на то что как раз это умолчание оказывается совершенно неплодотворным. Таким образом, спустя почти столетие после появления квантовой теории, после того, как она полностью изменила мир и жизнь каждого человека на Земле — как в лучшую, так и в худшую сторону, — после всего этого мы все еще не знаем, что именно эта теория говорит нам о природе реальности. Именно эта от начала и до конца странная ситуация является предметом нашей книги.



Да, такое положение дел поистине удивительно. Но почти никто из не-физиков о нем не догадывается. Впрочем, почему, собственно, оно должно кого-то волновать? В конце концов, квантовая физика прекрасно работает. Да и самих физиков вряд ли должно что-то беспокоить: разве недостаточно того, что их математический аппарат работает безотказно и делает точные предсказания?

## ВВЕДЕНИЕ

Но наука — это нечто большее, чем математика и предсказания. Наука рисует нам картину мира, рассказывает, как он устроен. Именно эта картина, этот рассказ об устройстве мира служат отправной точкой как повседневной научной практики, так и будущего развития научных теорий, не говоря уж о более широком мире человеческой деятельности вне области науки. Мы можем придумать множество историй о значении любой системы уравнений; из этих историй мы выбираем лучшую, а потом начинаем искать в ней изъяны. Именно так и развивается наука. Истории, вытекающие из лучших научных теорий, ведут к экспериментам, которые ученые ставят и результаты которых интерпретируют, уточняя и изменяя теории. Как сказал об этом Эйнштейн, «теория определяет, что мы можем наблюдать»<sup>1</sup>.

История науки снова и снова подтверждает это высказывание. Галилей не изобретал телескопа, но он первым подумал о том, чтобы направить хороший телескоп на Юпитер — ведь он считал, что Юпитер, как и Земля, — планета, которая обращается вокруг Солнца. После этого в телескопы стали регулярно смотреть на все, что встречается на небе: на кометы, туманности, звездные скопления. Но никому не пришло в голову воспользоваться телескопом, чтобы выяснить, не изгибает ли гравитация Солнца лучи звезд во время солнечного затмения, пока общая теория относительности Эйнштейна не предсказала этот эффект через триста с лишним лет после открытия Гали-

---

<sup>1</sup> Werner Heisenberg 1971, *Physics and Beyond* (Harper&Collins), p. 63.