

NEW SCIENTIST  
Лучшее от экспертов журнала



# The Quantum World

*The Disturbing Theory  
at the Heart of Reality*

NEW SCIENTIST

# Квантовый мир

*Невероятная теория  
в самом сердце мироздания*



ОГИЗ

Издательство АСТ

Москва

УДК 530.142

ББК 22.31

К32

## **The Quantum World**

### ***The Disturbing Theory at the Heart of Reality***

*First published in the English language by Hodder & Stoughton Limited.*

*Печатается с разрешения издательства Hodder & Stoughton Limited.*

*Нарушение прав автора, правообладателя, лицензиара влечет привлечение виновных к уголовной, административной и гражданской ответственности*

К32 **Квантовый мир. Невероятная теория в самом сердце мироздания / под ред. Э. Джордж ; пер. с англ. Н. Уткина. — Москва : Издательство АСТ, 2020. — 256 с. — (New Scientist. Лучшее от экспертов журнала).**

ISBN 978-5-17-121932-1

Квантовую механику никто не понимает? Как сосуществуют миры? Почему квантовая физика такая сложная? Создает ли сознание реальность? Как можно использовать знания о квантовом мире? Когда у нас будут квантовые компьютеры? Как реальность зависит от наблюдения за ней? Как природа использует мощь квантовой механики?

В этой книге собраны размышления ведущих физиков и лучшие материалы журнала *New Scientist*, которые познакомят вас с прошлым, настоящим и будущим квантового мира и позволят по-новому взглянуть на реальность.

УДК 530.142

ББК 22.31

ISBN 978-5-17-121932-1

ISBN 978-1-47362-946-2 (англ.)

© New Scientist, 2017

© Оформление, ООО «Издательство АСТ», 2020

## НАД КНИГОЙ РАБОТАЛИ

Эта книга основана на докладах, прочитанных на мастер-классе «Квантовый мир» журнала *New Scientist* и статьях, ранее опубликованных в *New Scientist* вместе со специально подготовленными материалами.

**Элисон Джордж** — главный редактор, редактор серии книг *Instant Expert* журнала *New Scientist*.

**Хьюго Кейбл** — старший научный сотрудник Бристольского университета (Великобритания), где он занимается исследованием квантовых вычислений и квантовых датчиков. Он участвовал в написании параграфа «Шум — ключ к квантовым технологиям?» в главе 5.

**Джонджо Макфадден** — профессор молекулярной генетики Университета Суррея (Великобритания), один из пионеров молодой развивающейся области — квантовой биологии. Он написал параграф «Использовала ли жизнь мощь квантовой механики?» в главе 6.

**Каван Моди** — преподаватель Университета Монаша в Мельбурне (Австралия), чьи научные интересы сосредоточены на теории квантовой информации. Он участвовал

в написании параграфа «Шум — ключ к квантовым технологиям?» в главе 5.

**Дэвид Тонг** — профессор теоретической физики Кембриджского университета (Великобритания), работающий над квантовой теорией поля и теорией гравитации. Он написал параграф «Вопрос квантовой гравитации» в главе 6.

**Влатко Вedral** — профессор квантовой информатики Оксфордского университета (Великобритания) и Национального университета Сингапура. Он написал параграфы «Как был обнаружен квантовый мир» в главе 1 и по квантовым вычислениям в главе 4.

Также выражаем благодарность следующим авторам и редакторам:

Питер Элдхаус, Галаад Амит, Анил Анантасвами, Яков Арон, Стивен Беттерсби, Селеста Бивер, Майкл Брукс, Аманда Джефтер, Лиза Гроссман, Дуглас Хэвен, Роуэн Хупер, Валери Джеемисон, Ричард Уэбб.

## ВВЕДЕНИЕ

«**Д**ействительно ли природа может быть такой абсурдной, какой она предстает перед нами в экспериментах с атомами?»

Это вопрос, ответ на который физик Вернер Гейзенберг искал поздними вечерами со своим научным руководителем Нильсом Бором в течение 20-х годов XX века, когда они составляли свод правил для абсолютно нового понимания мира.

Квантовый мир, который они обнаружили, и правда странный: в нем частицы могут существовать в двух местах одновременно и быть непонятным образом связанными, как бы далеко они друг от друга ни находились. На уровне атомов, электронов и частиц света объекты, кажется, меняют свои свойства, когда на них смотрят. Но этого, безусловно, не может быть, как думал Гейзенберг.

Сегодня, спустя почти век интенсивных исследований, мы знаем ответ на вопрос Гейзенберга. В микроскопическом мире атомов, частиц и их составляющих наше обычное понимание реальности не работает: здесь действуют новые правила, открывающиеся с помощью экспериментальной проверки.

С путеводителем из серии *Instant Expert* журнала *New Scientist* мы отправимся в путешествие по этому таинственному миру и познакомимся с интересными личностями, благодаря которым он открыт. В их число входят Альберт Эйнштейн,

ненавидевший идею «жуткого действия на расстоянии» в квантовой механике, и Эрвин Шрёдингер, придумавший свой знаменитый мысленный эксперимент с котом, чтобы показать абсурдность этого странного места.

Что это все означает? Становятся ли вещи реальными только в те моменты, когда за ними наблюдают? Рождаются ли новые вселенные каждый раз, когда мы проводим измерения? И что это все значит для фундамента реальности?

Вместе с этими умопомрачительными вопросами квантовая механика также дала нам много практических технологий: лазеры, ядерные реакторы и транзисторы, лежащие в основе работы компьютеров и всех цифровых технологий. В будущем ожидается еще больше: компьютеры более мощные, чем собранные когда-либо прежде, полностью защищенную коммуникацию и даже квантовую телепортацию.

В этой книге также исследуется та роль, которую квантовая механика играет в биологии. Например, использовала ли эволюция преимущество квантовой таинственности в разработке биохимии жизни — начиная с навигационных систем птиц и заканчивая фотосинтезом в растениях?

Идеи квантовой механики начинают распространяться на громадные масштабы космоса. Много физиков считают, что ее объединение с общей теорией относительности Эйнштейна откроет новое понимание Большого взрыва и природы пространства и времени.

Эта книга собирает воедино размышления ведущих физиков и лучшие материалы журнала *New Scientist*, чтобы познакомить вас с прошлым, настоящим и будущим квантового мира, его применениями и интригующими следствиями.

Элисон Джордж,  
главный редактор,  
редактор серии *Instant Expert*



# 1 ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В МИР ТАИНСТВЕННОГО

*Открытие квантового мира было спровоцировано тем, что его инициатор назвал «актом отчаяния» в конце XIX века. В этой главе описано, как возник и развивался новый раздел теоретической физики — квантовая физика.*

## КАК БЫЛ ОБНАРУЖЕН КВАНТОВЫЙ МИР

**К**огда немецкий физик Макс Планк (1858–1947) был молодым студентом, профессор университета сказал ему, что «почти все уже открыто и остается лишь заполнить несколько пробелов». Когда в свои 40 лет (см. рис. 1.1) Планк взялся за одну из этих небольших проблем, в ходе ее решения он невольно дал начало революционно новому разделу физики.

Проблема, которую исследовал Планк, была связана с излучением, исходящим от абсолютно черного тела — идеального поглотителя и излучателя энергии, который не поддавался объяснению с позиции существующих законов



Рис. 1.1. Макс Планк, основатель квантовой теории, совершивший революционный переворот в нашем понимании атомных и субатомных процессов.

физики (см. ниже в параграфе «Законы классической физики»). Какими бы горячими ни становились эти тела, они почти не испускали ультрафиолетового излучения.

В 1900 году Планк сообщил о своем решении проблемы «ультрафиолетовой катастрофы»: вместо того чтобы быть непрерывной, энергия распространяется маленькими порциями, которые он назвал квантами. Но Планк совершенно не имел представления о том, почему энергия должна быть именно такой, и поэтому назвал свое решение «актом отчаяния». Он не располагал никакими экспериментальными подтверждениями и основывался всего лишь на математической формуле. Все, и в первую очередь Планк, не понимали, насколько радикальным открытием было это решение.

Ситуация изменилась пять лет спустя, когда 25-летний неизвестный, которого звали Альберт Эйнштейн (1879–1955) (см. рис. 1.2), предложил еще более революционную идею. Он работал над фотоэлектрическим эффектом — явлением, в ходе которого электроны высвобождаются из металла светом, имеющим определенные частоты независимо от его интенсивности. Эйнштейн утверждал, что если энергия распространяется дискретными пакетами, то таким же образом распространяется и свет. Он предположил, что свет представляет собой не непрерывную волну, а поток маленьких «атомов», названных фотонами. Хотя Эйнштейн наиболее известен своей теорией относительности, свою статью 1905 года, в которой и предложил концепцию фотонов, он назвал «единственной революционной».

Традиционное понимание света и энергии начинало рушиться. Дальнейший прорыв совершил датский современник Эйнштейна Нильс Бор (1885–1962), который боролся с проблемой того, что согласно законам классической физики

Рис. 1.2. Альберт Эйнштейн в 1904 году. Работа над фотоэлектрическим эффектом привела его к выдвижению концепции фотона.



атом не должен существовать. Внутри атома отрицательно заряженные электроны вращаются вокруг положительно заряженного ядра, но теоретически эти электроны должны терять энергию и в конечном счете падать по спирали к ядру. Устойчивость вещества представлялась невозможной.

Бор решил эту проблему, предположив, что электроны обращаются вокруг ядра по орбитам из дискретного набора и не могут существовать между любой парой этих орбит. Если они перепрыгивают с одной орбиты на другую, то излучают фотоны. Его расчеты частот этих фотонов отлично согласовывались с результатами экспериментов того времени. Это было еще одним подтверждением того, что свет испускается маленькими порциями, энергия которых соответствует разностям уровней энергии электронов.

### *Законы классической физики*

Английский ученый Исаак Ньютон (1643–1727) представил Вселенную похожей на гигантский часовой механизм, ра-

ботающий согласно извечным законам движения, созданным Ньютоном в 80-е годы XVII века. При заданных начальных условиях Вселенная развивается детерминированно.

Законы классической физики Ньютона много раз подвергались проверкам в течение XVIII и XIX веков. Они дали настолько точное описание событий на макроуровне, что лауреат Нобелевской премии, физик Альберт Майкельсон (1852–1931), написал следующие знаменитые строки: «Наиболее важные фундаментальные законы и факты физической науки... настолько твердо установлены, что возможность их какой бы то ни было замены в результате новых открытий крайне маловероятна».

Квантовая физика, однако, изменила эту картину самым драматичным образом. В ней понятие случайности появляется на фундаментальном уровне. Когда квантовая частица, например частица света — фотон, встречает на своем пути кусок стекла, например в вашем окне, она, кажется, ведет себя случайным образом. Существует вероятность того, что она пройдет через него, но также есть вероятность, что она может и отразиться от его поверхности. Насколько мы можем сказать, во Вселенной нет ничего, что определяет, какой из возможных вариантов реализуется в любой заданный момент времени.

Затем благодаря французскому физику и аристократу Луи де Бройлю (1892–1987) (см. рис. 1.3) случилось нечто еще более удивительное. Если световые волны также являются частицами, спрашивал он, то тогда почему бы не подумать о природе единым образом и не предположить, что атомы и электроны похожи на волны? Опираясь на уравнения Эйн-

штейна для фотонов, он показал, что частицы-электроны ведут себя так же, как и волны.

Эйнштейну очень нравилась эта революционная идея, но в то время она была всего лишь гипотезой. У де Бройля не было экспериментальных свидетельств, однако его работа придала огромный импульс новым исследованиям. Вскоре эксперименты с электронами и атомами гелия подтвердили, что они действительно ведут себя как волны: рассеиваются и дают интерференционные картины, когда проходят через дифракционную решетку, то есть так же, как ведут себя волны на поверхности воды (см. рис. 2.1). Несмотря на противоречие здравому смыслу, корпускулярно-волновой дуализм признали реальным.

В 1927 году Вернер Гейзенберг (1901–1976), один из лучших студентов Бора, понял, что одним из следствий корпускулярно-волнового дуализма является фундаментальное ограничение, налагаемое им на количество информации о физической системе, которое можно получить в принципе. Чем



Рис. 1.3. Луи де Бройль, продемонстрировавший, что электроны, являющиеся частицами, ведут себя так же, как и волны.

точнее мы измеряем положение частицы, тем меньше мы знаем о ее импульсе. Эта неопределенность не имеет ничего общего с практическими трудностями измерения в масштабах фотонов и электронов — это фундаментальная особенность Вселенной. Гейзенберг показал, что на квантовом уровне положение и импульс объектов не являются отдельными свойствами, как в нашем повседневном мире. Квантовые объекты имеют смесь положения и импульса, их невозможно отделить друг от друга. Даже сегодня принцип неопределенности Гейзенберга остается одним из наиболее обескураживающих предсказаний квантовой теории.

### *Бор и Гейзенберг*

У некоторых мужчин средних лет есть игрушечная железная дорога, спрятанная на чердаке. У Нильса Бора был Вернер Гейзенберг. Зимой 1926–1927 годов выдающийся молодой немец работал ассистентом Бора и жил на чердаке здания Копенгагенского института (Дания), основанного Бором. В конце рабочего дня Бор приходил в гнездо Гейзенберга, с которым вел квантовые беседы. Они часто засиживались допоздна, бурно споря о смысле новой революционной квантовой теории.

Столь же обескураживающее предположение было выдвинуто примерно в то же время австрийским физиком Эрвином Шрёдингером (1887–1961). В 1925 году после выступления Шрёдингера с докладом один из сидящих в аудитории спросил его: «Вы продолжаете говорить о том, что