



**New Scientist**  
ЛУЧШЕЕ ОТ ЭКСПЕРТОВ ЖУРНАЛА

Невероятная  
теория  
в самом  
сердце  
мироздания

# КВАНТОВЫЙ МИР

New Scientist. Лучшее от экспертов журнала

Сборник

**Квантовый мир. Невероятная  
теория в самом сердце мироздания**

«Издательство АСТ»

2017

УДК 530.142

ББК 22.31

## **Сборник**

Квантовый мир. Невероятная теория в самом сердце мироздания / Сборник — «Издательство АСТ», 2017 — (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 позволят по-новому взглянуть на реальность.

УДК 530.142

ББК 22.31

ISBN 978-5-17-121932-1

© Сборник, 2017

© Издательство АСТ, 2017

# Содержание

Над книгой работали	6
Введение	7
1. Добро пожаловать в мир таинственного	8
Как был обнаружен квантовый мир	9
Главные действующие лица	18
Краткая история квантовой революции	22
Конец ознакомительного фрагмента.	23

**Квантовый мир. Невероятная  
теория в самом сердце мироздания  
Под редакцией Элисон Джордж**

**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.*

© 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.

**Джон Джо 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 Модри** – 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 Джемисон, Ричард Уэбб.

## Введение

«Действительно 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 составили 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**

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



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

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 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.



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

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, работающий 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, встречается 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 Эйнштейна 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.



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

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 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 электроны и атомы – это волны, но почему бы им не подчиняться волновому уравнению? В своем докладе вы вообще не упоминали о волновом уравнении». Но на тот момент волнового уравнения еще не было. После Шрёдингер уехал кататься на лыжах на выходные и вернулся с уравнением – сейчас известным как уравнение Шрёдингера, – описывающим изменение квантовой системы с течением времени. Такой тип уравнения, описывающий поведение волн на поверхности воды или света, с тех пор стало возможно применять также к атомам и молекулам. Это привело к еще большему количеству результатов, бросавших вызов нашим повседневным представлениям о том, как работает мир.

Шрёдингер признавал, что мы не можем описывать частицу как занимающий фиксированную точку в пространстве объект. Вместо этого он утверждал, что мы можем лишь присвоить набор вероятностей всем возможным положениям существования частицы, и определенное она занимает только в тот момент, когда кто-то берет на себя труд посмотреть на нее.

Абсурдность такой логики легла тяжким бременем на плечи квантовых физиков того времени, и именно тогда Эйнштейн стал ее оппонентом. Даже те, кто привык к этой идее, чувствовали себя неловко от следствий уравнения Шрёдингера. Эти следствия означают, что частица может быть в двух местах одновременно, а во время измерения она как будто бы внезапно появляется только в одном из них. По некоторым заданным начальным условиям квантовая механика не может предсказать итог, в отличие от мира классической физики, что привело к знаменитому критическому высказыванию Эйнштейна: «Бог не играет в кости».

Другое серьезное недовольство Эйнштейна было связано со странным явлением квантовой запутанности, при котором между двумя частицами имеется связь, не зависящая от того, насколько далеки они друг от друга. Когда фотон отправляется на делитель световых лучей, называемый интерферометром, то проходит одновременно двумя путями. Если вы проводите измерение в одном плече интерферометра и не обнаруживаете фотон, это означает, что он находится в другом плече. Даже если два плеча располагаются на расстоянии в тысячи световых лет друг от друга, обнаружение фотона в одном плече все равно вызывает мгновенное появление или исчезновение фотона в другом. Как такое может быть? Эйнштейну не нравилось это «жуткое действие на расстоянии», поскольку оно, очевидно, нарушает законы теории относительности, гласящие, что ничего не может распространяться быстрее света. Также он был недоволен тем, что квантовая механика не дает более подробного описания, объясняющего, почему это явление происходит (см. ниже в блоке «“Магия” Фарадея»).

### **«Магия» Фарадея**

В течение 20-х годов XIX века пионер электромагнетизма Майкл Фарадей (1791–1867) часто исполнял трюк на своих рождественских лекциях в Королевском институте Лондона, который, кажется, похож на «жуткое действие на расстоянии» квантовой механики.

У Фарадея была большая катушка, на одном конце которой располагался магнит, а на некотором расстоянии от другого – компас. Когда он помещал магнит внутрь катушки, стрелка компаса поворачивалась несмотря на то, что находилась далеко от магнита. Для зрителей это выглядело волшебством – подобно «жуткому действию на расстоянии». На самом деле движение стрелки компаса вызывалось изменением магнитного поля катушки, но в то время концепция магнитного поля еще не была разработана.

Что касается квантовой механики, то для нее у нас нет подобного объяснения. Когда я провожу измерение и фиксирую вещи в одном месте, то они исчезают в другом, как будто бы случайным образом и без всякой причины. Насколько нам известно, между этими двумя местами ничего не происходит – нет аналога электронам,двигающимся по виткам катушки Фарадея.

И сегодня ученые разгадывают философские головоломки, порожденные квантовой механикой. Что они означают? Действительно ли все является нереальным до того, как попадает в поле зрения? Английский физик Уильям Лоренс Брегг (1890–1971), родившийся в Австралии, даже предположил, что «все в будущем – это волна, а все в прошлом – частица», считая, что квантовая механика может быть ответственна за направленность времени.

## ВОЛНА

**Аристотель** (384–322 до н. э.)

Свет — это возмущение в эфирной среде.

**Рене Декарт** (1596–1650)

Свет — это импульс, распространяющийся по материальным частицам природы.

**Христиан Гюйгенс** (1629–1695)

Разработал первую современную волновую теорию света, чтобы объяснить явления отражения, преломления и интерференции.

**Томас Юнг** (1773–1829)

Его двухщелевой эксперимент продемонстрировал явление интерференции света и опроверг теорию Ньютона.

**Джеймс Клерк Максвелл** (1831–1879)

В его теории электромагнетизма свет представлял собой распространяющиеся поля.

**1924** — квантовая теория предлагает следующее решение: все вещество, включая свет, является **как волнами, так и частицами.**

## ЧАСТИЦА

**Демокрит** (ок. 460–370 до н. э.)

Свет — это атомы, сброшенные с поверхности Солнца.

**Альхазен** (965–1040)

Арабский ученый, постулировавший, что свет излучается всеми видимыми объектами.

**Исаак Ньютон** (1642–1727)

Разработал корпускулярную теорию, которая жила за счет его авторитета в течение века.

**Макс Планк** (1858–1947)

Объяснил спектры излучения с помощью разделения света на дискретные порции энергии, названные квантами.

**Альберт Эйнштейн** (1879–1955)

Использовал световые кванты Планка для объяснения фотоэлектрического эффекта.

Рис. 1.4. Борьба из-за дуализма: философы и физики долго спорили о том, чем является свет – волной или частицей.

Но пионеры квантовой физики отстаивали свою позицию. Квантовая теория всегда проходила экспериментальные проверки. На субатомном уровне способ измерения на самом деле определяет результат, а частицы и волны являются двумя сторонами единой реальности (см. рис. 1.4). Даже сегодня мы не знаем ни одного закона природы, который мог бы противоречить квантовой механике на уровне Вселенной.

## Главные действующие лица

В октябре 1927 года V Сольвеевский конгресс стал невероятной встречей умов, где ведущие физики того времени собрались для обсуждения нового раздела теоретической физики – квантовой механики. Из 29 человек на фотографии с этого события (см. рис. 1.5) 17 были или станут лауреатами Нобелевской премии (Мариш Кюри, единственной женщине на фотографии, будет присуждено даже две).

**Альберт Эйнштейн** (передний ряд, пятый слева)

Эйнштейну было всего 26 лет, когда он написал замечательную серию статей в 1905 году, его *annus mirabilis*<sup>1</sup>. Они включали работу по специальной теории относительности и знаменитое уравнение  $E = mc^2$ . Однако первая выдающаяся статья, которую Эйнштейн опубликовал в тот год, посвящена фотоэлектрическому эффекту и отмечает огромный прыжок к рождающемуся разделу теоретической физики – квантовой механике, показав то, как энергия распространяется дискретными порциями. Именно за эту работу и «за заслуги перед теоретической физикой» он был удостоен Нобелевской премии в 1921 году. Будучи евреем, Эйнштейн столкнулся с возрастающей враждебностью в нацистской Германии и отказался от гражданства в 1933 году. В конце концов он нашел приют в Институте перспективных исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси, США), где работал до ухода в отставку.

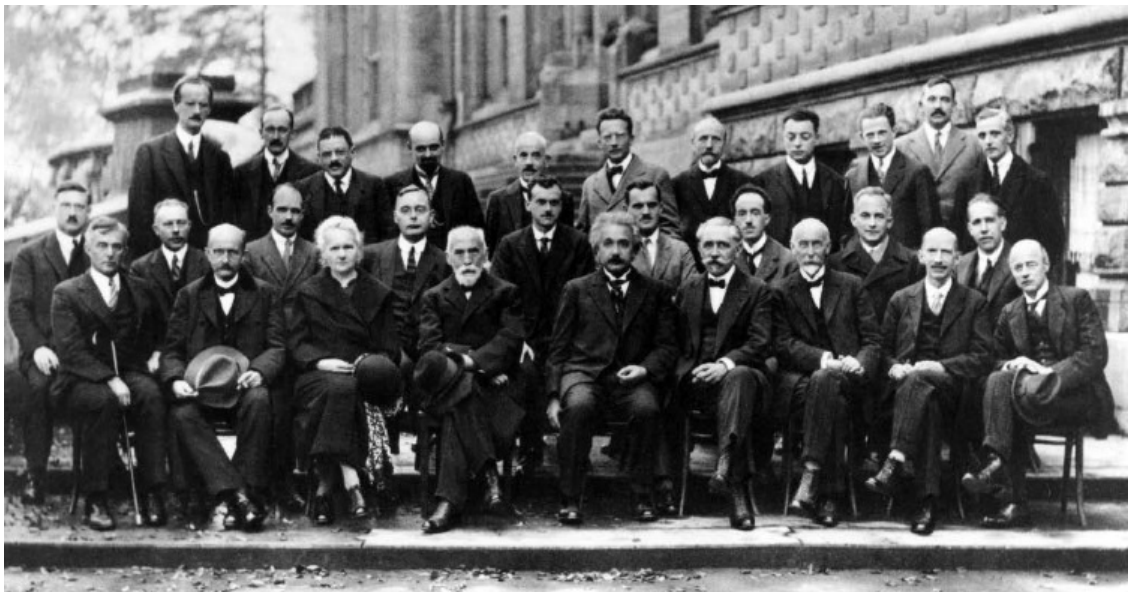


Рис. 1.5. Основатели квантовой механики на Сольвеевском конгрессе в Брюсселе, 1927 год.

**Эрвин Шрёдингер** (задний ряд, шестой слева)

Эта фотография была сделана за восемь лет до создания Шрёдингером знаменитого мысленного эксперимента с котом в главной роли, который показал кажущуюся абсурдность квантовой механики. Уроженец Вены (Австрия), Шрёдингер построил волновое уравнение, чтобы объяснить поведение квантовых систем, за что в 1933 году был удостоен Нобелевской премии по физике. Будучи противником нацистского режима, он покинул Австрию в 1934 году и уехал жить в Дублин (Ирландия), где принимал участие в основании Института высших исследова-

<sup>1</sup> Лат. «год чудес». – Прим. пер.

ний. Он также известен своей интересной личной жизнью, например под одной крышей с ним жили его жена и любовница.

**Макс Планк** (передний ряд, второй слева)

Макс Планк, дедушка квантовой механики, родился в Киле (Германия). В отличие от большинства других главных действующих лиц этой области науки, Планк был относительно немолодым (42 года), когда предположил, что энергия распространяется дискретными порциями. После этого революционного открытия, за которое в 1918 году он был удостоен Нобелевской премии, Планк играл незначительную роль в дальнейшем развитии квантовой теории. Он остался в Германии и являлся профессором Берлинского университета, но его жизнь была полна несчастий. Его сын Карл погиб на Первой мировой войне, обе его дочери умерли при рождении, а другой его сын, Эрвин, подозреваемый в причастности к заговору с целью убийства Адольфа Гитлера, был казнен гестапо в 1945 году.

**Вернер Гейзенберг** (задний ряд, девятый слева)

Больше известный своим принципом неопределенности, Гейзенберг родился в Вюрцбурге (Германия) и после завершения докторской диссертации работал у Нильса Бора в Копенгагене (Дания). В 1932 году он был удостоен Нобелевской премии «за создание квантовой механики» и за его теорию атома, согласно которой электрон поглощает и испускает излучение на определенных длинах волн при переходе между определенными орбитами, окружающими ядро. Гейзенберг также был ведущим ученым «Уранового клуба» – немецкого проекта по разработке ядерных технологий, и, как известно, в 1941 году встретился с Бором в оккупированной немцами Германии для обсуждения сложного выбора, связанного с этой работой. После войны он остался в Германии, исследуя ядерную энергию, космические лучи и субатомные частицы.

**Поль Дирак** (средний ряд, пятый слева)

Рожденный в Бристоле (Великобритания), Поль Дирак (1902–1984) занимался важнейшей частью объяснения фундаментальных частиц и взаимодействий. Уравнение, предложенное им в 1928 году для описания движущегося с околосветовой скоростью электрона, объединило квантовую физику Шрёдингера и Гейзенберга и специальную теорию относительности Эйнштейна. Оно также предсказало совершенно новый набор субатомных частиц, известных как античастицы. Дирак разделил Нобелевскую премию 1933 года со Шрёдингером. Он был эксцентричной личностью со сложным характером: мастер односложных ответов, Дирак всю жизнь отказывался находить общий язык с коллегами, студентами и даже с собственной семьей.

**Вольфганг Паули** (задний ряд, восьмой слева)

Без принципа запрета, введенного Вольфгангом Паули (1900–1958) в 1925 году, вещество, каким мы его знаем, не существовало бы. Этот принцип гласит, что два электрона в атоме не могут перейти в одно и то же квантовое состояние. За это он был удостоен Нобелевской премии в 1945 году. Паули также первым предсказал существование таинственных частиц – нейтрино в 1930 году. Вскоре после этого у него случилось нервное расстройство, и Паули проходил лечение у прославленного психоаналитика Карла Юнга. Его близкими друзьями были Нильс Бор и Вернер Гейзенберг. Паули родился в Вене и, хотя был воспитан католиком, имел еврейские корни, вследствие чего уехал жить в США в 1940 году. После войны он вернулся в Цюрих, где провел всю оставшуюся жизнь.

**Артур Комптон** (средний ряд, шестой слева)

Этот американский физик был удостоен Нобелевской премии в 1927 году сразу после Сольвеевского конгресса «за открытие эффекта, названного его именем» и показавшего рассеяние фотонов заряженными частицами. Эффект стал важным элементом квантового пазла, показывающим, что свет нельзя объяснить как чисто волновое явление. Комптон (1892–1962) играл ключевую роль в Манхэттенском проекте – американской ядерной программе Второй мировой войны.

**Луи де Бройль** (средний ряд, седьмой слева)

Его полное имя – герцог Луи Виктор Пьер Раймон де Бройль, родился в Дьепе (Франция) в благородной семье. В 1924 году он написал удивительно оригинальную докторскую диссертацию на 70 страниц с названием «Исследования по теории квантов», в которой выдвинул принцип корпускулярно-волнового дуализма – и всего лишь через пять лет был удостоен Нобелевской премии по физике. Де Бройль представил свою теорию «пилотной волны», в которой частица сопровождается направляющей волной, в 1927 году на Сольвеевском конгрессе, но потом отказался от этой идеи. Она была вновь обнаружена в 1952 году и переформулирована американским физиком Давидом Бомом (1917–1992). Де Бройль сыграл важную роль в основании Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН, от фр. *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*), Европейской организации по ядерным исследованиям в Женеве (Швейцария).

**Макс Борн** (средний ряд, восьмой слева)

Немецкий физик и математик Макс Борн (1882–1970) был удостоен в 1954 году Нобелевской премии по физике «за фундаментальные исследования по квантовой механике, в особенности за статистическую интерпретацию волновой функции», – работу, которой он занимался в Гёттингенском университете (Германия) 30 лет назад. В период своего пребывания там Борн также руководил многими из будущих светил области, например Гейзенбергом и Паули. Когда нацисты пришли к власти в 30-е годы XX века, Борн (будучи евреем) был отстранен от своего поста и уехал жить в Англию.

**Нильс Бор** (средний ряд, крайний правый)

Родившись в Копенгагене (Дания), Бор был первым из основоположников квантовой физики, кто поистине осознал философские проблемы, поставленные теорией, и принялся за их решение. Результаты его работы по-прежнему являются предметом споров. После оккупации Дании во время Второй мировой войны у Бора была знаменитая встреча с Гейзенбергом, ставшим главой немецкой ядерной программы. К 1943 году, находясь под угрозой ареста, он бежал в Швецию, а потом в Англию (как многие из пионеров квантовой физики, он был евреем), где присоединился к британской миссии Манхэттенского проекта. После войны Бор вернулся в Данию. В 1922 году он был удостоен Нобелевской премии по физике «за заслуги в исследовании строения атомов и испускаемого ими излучения».

***Как может так хорошо работающая теория иметь такие странные основания?***

Большинство теорий построено на твердом фундаменте изначальных принципов – но не квантовая. На ее создание вдохновила уходящая корнями в реальный мир идея, что энергия распространяется маленькими порциями, названными квантами. Однако к тому моменту, когда светила вроде Эрвина Шрёдингера и Вернера Гейзенберга завершили ее математическое описание, эта теория зажила собственной жизнью.

В результате же какое-либо определенное соответствие между математическими переменными и физическими свойствами пропало. Вместо них появились замысловатые объекты, например волновые функции, векторы состояний и матрицы, действующие в воображаемой математической среде, называемой Гильбертовым пространством – комплексной версии с большей размерностью нормального трехмерного пространства.

Удивительно, но эти абстракции работают. Используйте набор математических правил, установленных основателями квантовой теории, – и вы совершите физические предсказания, экспериментально подтверждаемые вновь и вновь. Частицы, появляющиеся из ничего лишь для того, чтобы исчезнуть вновь; объекты, физические состояния которых могут стать запутанными и которые способны мгновенно влиять друг на друга на больших расстояниях; коты, подвешенные между жизнью и смертью, пока мы не посмотрим на них, – все это вытекает из математической формулировки квантовой теории и, кажется, является реальным отражением того, как работает мир.

## Краткая история квантовой революции

**1900**

Макс Планк случайно устраивает революцию, предположив, что энергия может существовать только в определенных количествах, названных квантами, – рождается квантовая теория.

**1905**

Альберт Эйнштейн предполагает, что свет состоит из дискретных порций энергии, позднее названных фотонами.

**1913**

Нильс Бор выдвигает теорию строения атома, основанную на квантовых идеях.

**1922**

Эксперименты Артура Комптона подтверждают, что электромагнитное излучение может также быть описано как частицы-фотоны.

**1923**

Луи де Бройль обнаруживает волновую природу электронов.

**1925**

Бор и Вернер Гейзенберг формулируют копенгагенскую интерпретацию квантовой механики, по-прежнему доминирующую.

Вернер Гейзенберг, Макс Борн и Паскуаль Йордан разрабатывают первую версию квантовой механики.

**1926**

Эрвин Шрёдингер публикует волновое уравнение, демонстрирующее таинственную суть реальности.

**1927**

Вернер Гейзенберг выдвигает принцип неопределенности, налагающий фундаментальное ограничение на знания о мире, которые мы можем получить в принципе.

## **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.