



ДЖОН ГРИББИН

— Ш — Е — С — Т — Ь —
НЕВОЗМОЖНОСТЕЙ

ЗАГАДКИ КВАНТОВОГО МИРА

Джон Гриббин

**Шесть невозможностей.
Загадки квантового мира**

«Альпина Диджитал»

2019

УДК 53
ББК 22.3

Гриббин Д.

Шесть невозможностей. Загадки квантового мира / Д. Гриббин —
«Альпина Диджитал», 2019

ISBN 978-5-00-139550-8

Квантовая физика – очень странная штука. Она утверждает, что одна частица может находиться в двух местах одновременно. Больше того, частица – это еще и волна, и все происходящее в квантовом мире может быть представлено как взаимодействие волн – или частиц, как вам больше нравится. Все это было понятно уже к концу 1920-х годов. За это время было испробовано немало разных более или менее убедительных интерпретаций. Известный популяризатор науки Джон Гриббин отправляет нас в захватывающее путешествие по «большой шестерке» таких объяснений, от копенгагенской интерпретации до идеи множественности миров. Все эти варианты в разной степени безумны, но в квантовом мире безумность не равносильна ошибочности, и быть безумнее других не обязательно значит быть более неверным. «Шесть невозможностей» – поразительно лаконичный путеводитель по поистине удивительному миру. В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

УДК 53
ББК 22.3

ISBN 978-5-00-139550-8

© Гриббин Д., 2019
© Альпина Диджитал, 2019

Содержание

Об авторе	6
Предисловие	7
Шаг первый	9
Конец ознакомительного фрагмента.	14

Джон Гриббин

Шесть невозможностей: Загадки квантового мира

Алиса рассмеялась.

– Не получается, – сказала она. – Ну как можно поверить в невозможное?

– Постепенно, – наставляла Королева. – Когда я была такая же молоденькая, как ты, я занималась этим ежедневно по полчаса. До завтрака мне удавалось поверить в шесть самых невозможных невозможностей.

ЛЬЮИС КЭРРОЛЛ. АЛИСА В ЗАЗЕРКАЛЬЕ¹

УТЕШЕНИЕ, -я; ср. То, что утешает, доставляет кому-л. успокоение, облегчение в горе.

John Gribbin

SIX IMPOSSIBLE THINGS

The 'Quanta of Solace' and the Mysteries of the Subatomic World

Переводчик Наталья Лисова

Научный редактор Игорь Лисов

Редактор Владимир Потапов

© John and Mary Gribbin, 2019

© Издание на русском языке, перевод. ООО «Альпина нон-фикшн», 2021

Об авторе

В длинный список бестселлеров автора входят такие книги, как «В поисках кота Шрёдингера», «Биография Вселенной», «13,8. Поиск истинного возраста Вселенной и теория всего», а также «Из тени гиганта: как Ньютон стоял на плечах Гука и Галлея». Гриббин – приглашенный профессор Университета Сассекса. Журнал *The Spectator* назвал его «одним из лучших и самых плодovitых современных авторов научно-популярной литературы».

Предисловие

В чем дело, Альфи? Нужда в квантовом утешении

Квантовая физика – странная штука. По крайней мере, странная для нас, потому что правила квантового мира, управляющие тем, как этот мир работает на уровне атомов и элементарных частиц (управляющие поведением света и вещества, как сформулировал это Ричард Фейнман), не совпадают со знакомыми нам правилами – правилами того, что мы называем здравым смыслом.

Квантовые правила как будто говорят нам, что некий кот может быть живым и мертвым одновременно, а частица может находиться сразу в двух местах. Мало того, они гласят, что любая частица есть также волна и всё в квантовом мире может быть описано исключительно в терминах волн – или же исключительно в терминах частиц, если вам там больше нравится. Эрвин Шрёдингер нашел уравнения, описывающие квантовый мир волн, Вернер Гейзенберг – уравнения, описывающие квантовый мир частиц, а Поль Дирак доказал, что эти два варианта реальности в точности эквивалентны друг другу и описывают один и тот же квантовый мир. Все это было ясно уже к концу 1920-х гг. Но, к большому разочарованию многих физиков, не говоря уже о простых смертных, никто (ни тогда, ни позже) не мог предложить разумного с точки зрения здравого смысла объяснения происходящего.

Конечно, можно просто игнорировать эту проблему в надежде, что когда-нибудь она исчезнет сама. Уравнения (в том варианте, который вы предпочитаете) прекрасно работают, если вам нужно, к примеру, спроектировать лазер, объяснить структуру ДНК или построить квантовый компьютер. Так оно и было: целые поколения студентов не получали других указаний, кроме указания «заткнуться и считать», то есть не спрашивать, что эти уравнения *означают*, а просто подставлять в них числа. Это примерно соответствует указанию заткнуть пальцами уши и напевать при этом «ля-ля-ля, я тебя не слышу». Более вдумчивые физики все же ищут утешения и покоя. Они уже предложили немало более или менее отчаянных средств для объяснения того, что происходит в квантовом мире.

Эти средства – «кванты утешения» – называются интерпретациями. На уровне уравнений ни одна из этих интерпретаций не имеет преимуществ перед другими, хотя сами интерпретаторы и их последователи, конечно, скажут вам, что свет истинной веры несет их любимая интерпретация, а те, кто придерживается иных вероучений, – еретики. С другой стороны, в математическом отношении ни одна из интерпретаций ни в чем не уступает остальным. Скорее всего, это означает, что мы упускаем что-то серьезное. Когда-нибудь, возможно, будет открыто великолепное новое описание мира, способное делать все те же предсказания, что и современная квантовая теория, но при этом осмысленное. По крайней мере, можно на это надеяться.

А пока что стоит, пожалуй, предложить вам критический обзор основных интерпретаций квантовой физики. Все они безумны с точки зрения здравого смысла, причем некоторые из них безумнее прочих, но в квантовом мире «безумный» не обязательно означает «неверный», а быть безумнее остальных не обязательно значит быть еще более неверным. Я выбрал шесть примеров – традиционную полудюжину – в основном для того, чтобы оправдать использование цитаты из «Алисы в Зазеркалье» в качестве эпиграфа. У меня есть свое мнение об их относительных достоинствах, но я постараюсь попридержаться его, чтобы дать вам возможность сделать собственный выбор, а если хотите, можно просто заткнуть уши и петь «ля-ля-ля, я тебя не слышу».

Однако, прежде чем предложить вам эти интерпретации, я должен объяснить хотя бы коротко, что именно мы пытаемся интерпретировать. Наука часто продвигается вперед рывками – как говорится, шаг вперед, два на месте. Но в данном случае, кажется, имеет смысл

начать с двух шагов вперед, сделав тем самым еще один реверанс в сторону Чарльза Лютвиджа Доджсона, более известного как Льюис Кэрролл.

Джон Гриббин

Июнь 2018

Шаг первый

Главная загадка

Вся странность квантового мира обнаруживается в том, что мы обычно называем «экспериментом с двумя щелями». Ричард Фейнман, получивший Нобелевскую премию за вклад в квантовую физику, предпочитал называть его «экспериментом с двумя отверстиями» и говорил, что это «явление, которое невозможно, *совершенно, абсолютно* невозможно объяснить классическим способом. В этом явлении таится сама суть квантовой механики. Но на самом деле в нем прячется *одна-единственная* тайна... [и заключены] основные особенности всей квантовой механики»². Сюрприз для тех, кто из школьного курса физики помнит, что с помощью этого эксперимента «доказывается», что свет представляет собой некую форму волны.

В школьном варианте эксперимента фигурирует темная комната, в которой свет падает на простой экран – лист картона или бумаги. В нем проделаны две крошечные дырочки или, в некоторых версиях, две узкие параллельные щели. За этим экраном расположен второй экран, уже без всяких отверстий. Свет, пройдя через два отверстия в первом экране, попадает на второй экран, где образует своеобразный узор из света и тени. То, как свет расходится от отверстий, называется дифракцией, а узор – интерференционной картиной, потому что возникает она в результате взаимодействия (интерференции) двух пучков света, исходящих от двух отверстий. И узор этот в точности соответствует рисунку, который должен был бы возникнуть, если бы свет двигался как своего рода волна. В одних местах волны складываются и создают на втором экране светлое пятно; в других – гребень одной волны приходится на впадину другой, они компенсируют друг друга и оставляют темное пятно. Интерференционную картину точно такого же типа можно увидеть в волнах, которые разойдутся на спокойной поверхности пруда, если бросить в него два камешка одновременно. Одна из характерных особенностей такой интерференции состоит в том, что самое яркое световое пятно на втором экране находится не прямо за одним из отверстий, а в точности посередине между ними – там, где следовало бы ожидать полной темноты на втором экране, будь свет потоком частиц. Да, если бы свет представлял собой поток частиц, можно было бы ожидать, что за каждым отверстием образуется светлое пятно, а между ними – темнота.

² «Лекции по физике», т. III (Цитируется по русскому переводу под редакцией Я. А. Смородинского. — Прим. пер.) В данном контексте термины «квантовая физика» и «квантовая механика» взаимозаменяемы. Под «классической» физикой подразумевается все, что было известно ученым до теории относительности и квантовой теории.

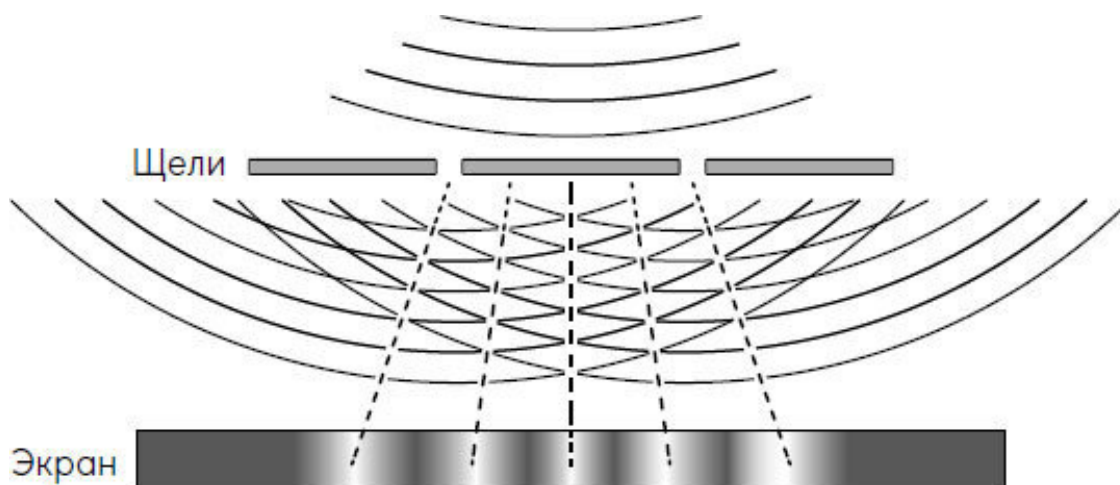


Ричард Фейнман

Joe Munroe/Hulton Archive/Getty Images

Пока все идет хорошо. Эксперимент доказывает, что свет движется как волна, о чем Томас Юнг догадался еще в начале XIX столетия. К несчастью, в начале XX в. другой эксперимент ясно показал, что свет ведет себя как поток частиц. Эксперимент заключался в том, что из металлической поверхности лучом света выбивали электроны – это называют фотоэлектрическим эффектом. Когда энергию выбитых электронов удалось измерить, оказалось, что энергия каждого электрона всегда одинакова для света любого заданного оттенка. Яркий свет выбивает из поверхности больше электронов, но тем не менее все они обладают одинаковой энергией, причем ровно такой же, как энергия меньшего числа электронов, выбитых приглушенным светом.

Объяснение этому явлению дал не кто иной, как Альберт Эйнштейн, – через частицы света, которые мы теперь называем фотонами, а сам он называл квантами света. Количество энергии, которое несет фотон, зависит от цвета, и при любом данном оттенке все фотоны обладают одинаковой энергией. Как писал Эйнштейн, «простейшая концепция состоит в том, что один квант света всю свою энергию целиком передает одному электрону». Усиление света просто увеличивает число фотонов (квантов света) с одинаковой энергией, которую каждый из них может передать электрону. Именно за эту работу, а вовсе не за теорию относительности, Эйнштейн был удостоен Нобелевской премии. На протяжении столетия свет воспринимали как волну, теперь физикам нужно было начинать воспринимать его как частицу, – но как в таком случае объяснить эксперимент с двумя отверстиями?



Проходя через две щели в экране, световые волны расходятся от каждой из них и образуют интерференционную картину, похожую на рябь на поверхности пруда.

Пунктирные линии показывают, в каких местах волны взаимно усиливаются, образуя на экране светлые пятна.

Дальше – хуже. Увидев, что эксперименты с фотоэлектрическим эффектом ставят под сомнение волновую природу света, в 1920-х гг. физики пришли в еще большее смятение: они узнали, что электрон – архетипическая частица субатомного мира – может вести себя как волна. Экспериментаторы направляли пучки электронов на тонкие – от одной десяти тысячной до одной соты тысячной миллиметра толщиной – листочки золотой фольги и наблюдали (с другой стороны листочков), что из этого получится. Исследования показали, что пучки электронов, проходя сквозь промежутки между атомами в атомной решетке металла, рассеиваются в точности так же, как рассеивается свет в эксперименте с двумя отверстиями. Джордж Томсон, проводивший эти опыты, был удостоен Нобелевской премии за доказательство волновой природы электрона. Его отец Дж. Дж. Томсон получил в свое время Нобелевскую премию за доказательство того, что электрон – частица (и дожил до того дня, когда премию вручили Джор-

джу). При этом обе награды были заслуженными, и ничто не могло яснее продемонстрировать странность квантового мира. Но и это еще не все.

Загадка корпускулярно-волнового дуализма, как это стали называть, начиная с 1920-х гг. лежала в центре теоретических рассуждений о смысле квантовой механики. Значительная часть теоретизирования об основах квантовой механики давала физикам утешение, о котором я расскажу позже. Но сама загадка во всем ее великолепии была выдвинута на первый план в серии красивейших экспериментов, начатых в 1970-х гг., так что я пропущу полвека поисков утешения и познакомлю вас с современными фактами, касающимися этой главной тайны. Если вам будет трудно принять последующее изложение, помните, что, как говорил Марк Твен, «правда невероятнее вымысла, потому что вымысел обязан оставаться в рамках правдоподобия, а правда – нет».

В 1974 г. три итальянских физика – Пьер Джорджо Мерли, Джан Франко Миссироли и Джулио Поцци – разработали метод наблюдения за процессом, эквивалентным эксперименту с двумя отверстиями для электронов. Вместо луча света они использовали пучок электронов, вылетающих с нити накала. Пучок пропускали через устройство, называемое электронной бипризмой. Электроны попадают в бипризму через единственный вход и встречаются там электрическое поле, которое расщепляет пучок надвое: половина электронов направляется наружу через один выход, другая половина – через второй. В результате они попадают на детекторный экран, похожий на экран компьютера, где удар каждого электрона оставляет белую точку. Эти точки некоторое время остаются видимыми на экране, так что по мере того, как число электронов, прошедших через экспериментальную установку, растет, на экране образуется упорядоченная картина.

Когда в бипризму посылают один электрон, он вылетает из того или иного выхода с вероятностью 50/50 и оставляет на экране точку. Если через установку проходит пучок электронов, они оставляют на экране множество перекрывающихся точек, которые складываются в узор – в интерференционную картину, характерную для волн.

Само по себе это еще ни о чем не говорило. Даже если электроны – это частицы, в пучке их много, и, проходя через установку, они вполне могли бы взаимодействовать и образовать интерференционную картину. В конце концов, волны на поверхности воды тоже образуют интерференционные картины, а вода состоит из молекул, которые можно рассматривать как частицы. Однако это было еще не все.

Итальянский эксперимент был настолько точным, что электроны можно было выпускать один за другим, словно самолеты на вылете из загруженного аэропорта. И, как вылетающие самолеты, электроны летели друг за другом с существенным интервалом. Расстояние от источника электронов (он был устроен чуть более хитроумно, чем простая нить накаливания) до экрана детектора составляло 10 м, и очередной электрон покидал источник только после того, как его предшественник достигал пункта назначения. Вы, надеюсь, уже догадались, что происходило, когда тысячи электронов выстреливались один за другим, чтобы образовать рисунок на экране. На нем появлялась интерференционная картина! И если предположить, что отдельные частицы, чтобы сформировать эту картину, действовали совместно, как взаимодействующие молекулы воды в пруду, тогда взаимодействие между ними должно происходить не только через пространство, но и через время. Такой эксперимент стал известен как «двухщелевая дифракция одиночного электрона».

Если электроны запускать по одному, как в двухщелевом эксперименте со светом, каждый из них оставит на детекторном экране пятнышко света. Со временем пятнышки накапливаются и образуют интерференционную картину, как если бы электроны представляли собой волны (см. след. рис.).

Итальянская команда опубликовала свои поразительные результаты в 1976 г., но это не «подняло волну» в мире науки. В то время мало кого из исследователей волновало, как рабо-

тает квантовая механика, – главное, чтобы она работала, то есть чтобы уравнения можно было использовать для расчетов и корректного предсказания результатов экспериментов. А уж как именно электрон или пучок электронов попадает из точки А в точку В, для инженера, конструирующего, скажем, телевизор, значения не имеет. Можно провести аналогию с той исчезающей породой автогонщиков, которых нисколько не волнует, что происходит под капотом их машин, – они просто проносятся по трассе, круг за кругом, на высокой скорости. Единственным советом, который – не без иронии – давали преподаватели студентам, желавшим все же разобраться в том, почему уравнения квантовой механики работают, был уже упомянутый мной совет «заткнуться и считать», то есть пользоваться уравнениями и не думать о том, что это все означает.

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.