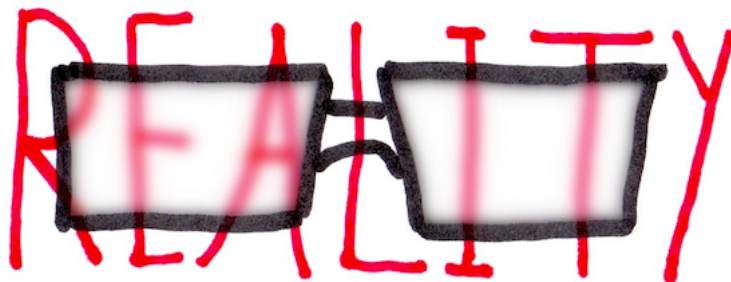


Эксперимент, который навсегда изменил наше представление о реальности / Geektimes

Принцип неопределенности говорит, что мы не можем знать определённые свойства квантовой системы в один и тот же момент времени. Например, мы не можем одновременно узнать положение частицы и ее скорость. Но что это говорит нам о реальном мире? Если бы мы могли заглянуть за кулисы квантовой теории, обнаружили бы мы, что объекты действительно обладают определенным положением и скоростью? Или принцип неопределенности означает, что на фундаментальном уровне объекты просто не имеют четкой координаты и импульса *одновременно*. Другими словами, неполна ли наша теория или реальность «размыта» на самом деле?



Вариант 1: Мутные очки, чёткая реальность

Первая перспектива такова, что использование квантовой механики — как ношение мутных очков. Если бы мы могли как-то снять эти очки и заглянуть за кулисы на фундаментальную реальность, то, конечно, частица должна иметь некоторую определенную координату и импульс. В конце концов, это вещь в нашей Вселенной и Вселенная должна знать, где эта вещь и в какую сторону она движется, даже если мы не знаем этого. Согласно этой точке зрения, квантовая механика не является полным описанием реальности — мы исследуем всю тонкость природы тупым инструментом и поэтому несомненно пропускаем некоторые детали.

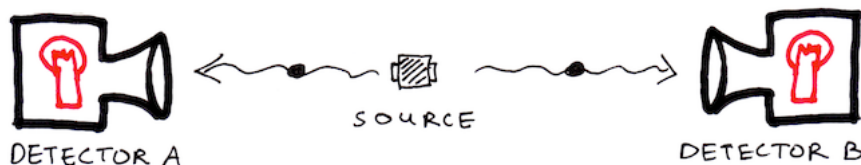
Это соответствует тому, как все остальное в нашем мире работает. Когда я снимаю свою обувь, и вы видите, что я надел красные носки, вы не думаете, что мои носки были в состоянии неопределенного цвета, пока мы не наблюдали их, с тем шансом, что они могли бы быть синие, желтые или розовые. Вместо этого вы (правильно) предполагаете, что мои носки всегда были красные. Так почему же частицы должны работать по-другому? Очевидно, что свойства вещей в природе должны существовать независимо от того, измеряем ли мы их, правда?



Вариант 2: Чёткие очки, мутная реальность

С другой стороны, может оказаться, что наши очки совершенно четки, но реальность размыта. Согласно этой точке зрения, квантовая механика является полным описанием реальности на этом уровне и все объекты во Вселенной просто не имеют определенного положения и импульса. Это мнение, которого большинство квантовых физиков придерживаются. Это не инструменты тупые, а реальность туманна по своей сути. В отличие от случая с моими красными носками, когда вы измеряете позицию частицы, она не имеет определенного положения до того момента, как вы измерили его. Акт измерения позиции *вынуждает* частицу иметь определенную позицию.

Теперь вы можете подумать, что это один из тех «если-дерево-падает-в-лесу» метафизических вопросов, которые не могут иметь определенный ответ. Тем не менее, в отличие от большинства философских вопросов есть фактический эксперимент, который вы можете сделать, чтобы разрешить этот спор. Более того, этот эксперимент был проделан множество раз. На мой взгляд, это одна из самых недооцененных идей в нашем понимании физики. Эксперимент является довольно простым и чрезвычайно глубоким, потому что объясняет нам кое-что удивительное о природе реальности.



Вот установка. Есть источник света в середине комнаты. Каждую минуту он посылает два фотона в противоположных направлениях. Эти пары фотонов создаются в особом состоянии, известном как квантовая запутанность. Это означает, что они оба связаны квантовым образом — если вы делаете измерения одного фотона, вы не просто меняете его квантовое состояние, но сразу же влияете на квантовое состояние другого фотона.

Слева и справа в этой комнате два одинаковых ящика, предназначенных для приема фотонов. На каждом ящике есть лампочка-индикатор.

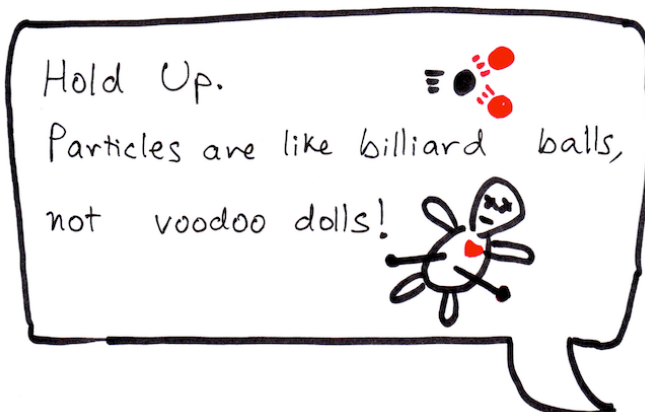
Каждый раз, когда фотон попадает в устройство, индикатор мигает одним из двух цветов — красным или зеленым. Каждый раз цвет лампочки оказывается случайным — без какой-либо закономерности. По всей видимости эта коробка измеряет некоторое свойство фотона.

Вы можете только догадываться о том, какой цвет зажётся следующим. Но вот действительно странная вещь: всякий раз, когда одна коробка мигает определенным цветом, другая коробка мигает тем же самым. Независимо от того, как далеко вы пытаетесь переместить коробки от детектора, даже если бы они находились в противоположных концах нашей Солнечной системы, они будут мигать и одним и тем же цветом без сбоев.

Это похоже на то, как если бы эти ящики были в сговоре с целью дать один и тот же результат. Как это возможно? (Если у вас есть собственная теория о том, как эти коробки работают, придержите её и скоро вы сможете сравнить свою идею с экспериментом.)

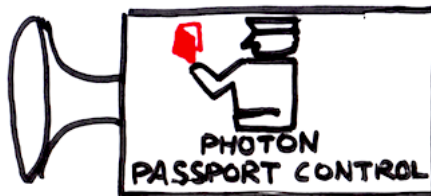


«Ага! — скажет квантовый энтузиаст. — Я могу объяснить, что здесь происходит. Каждый раз, когда фотон попадает в один из ящиков, устройство измеряет его квантовое состояние, которое сообщается миганием красным или зеленым цветом. Но два фотона квантово сцеплены, поэтому когда мы измерили, что один фотон находится, скажем, в „красном состоянии“, мы вынуждаем другой фотон быть в том же самом состоянии! Вот почему два ящика всегда мигают одним и тем же цветом».



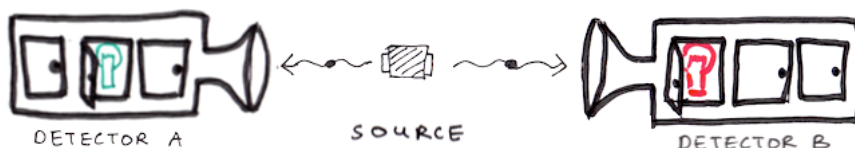
«Подожди-ка, — говорит классический физик. — Частицы — это бильярдные шары, а не куклы вуду. Это абсурд, что измерение в одном месте пространства может мгновенно повлиять на что-то в совершенно другом месте. Когда я замечаю, что один из моих носков красный, это не меняет состояние моего другого носка, заставляя его быть также красным. Простое объяснение в том, что фотоны в этом эксперименте, как и носки, создаются парами. Иногда они оба в красном состоянии, в остальных случаях — в зеленом. Эти коробки просто измеряют „скрытые параметры“ фотонов».

Эксперимент и рассуждения, изложенные здесь, являются версией мысленного эксперимента, впервые сформулированного Эйнштейном, Подольским и Розеном, и известным как парадокс ЭПР^[1]. Решающим моментом их аргументов является то, что абсурдным кажется тот факт, что измерение в одном месте может мгновенно повлиять на измерение в совершенно другом месте. Более логичное объяснение в том, что ящики детектируют некоторые скрытые свойства, которыми обладают оба фотона. С момента их создания эти фотоны имеют какой-то скрытый штамп, как паспорт, который относит их к красному или зеленому состоянию. Коробки, должно быть, определяют этот штамп. Эйнштейн, Подольский и Розен утверждали, что случайность, которую мы наблюдаем в этих экспериментах, является нашим пробелом в теории природы. По их словам — наши очки мутны. В терминологии теорий поля эта идея известна как Теория скрытых параметров^[2].



Казалось бы, классическая физика выиграл этот раунд, с объяснением, что проще и имеет больше смысла.

На следующий день новая пара ящиков приходит по почте. Новая версия коробки имеет три встроенных двери. Вы можете открыть только одну дверь за один раз. За каждой дверью индикатор, который как и прежде, может светиться красным или зеленым.



Оба физика играют с этими новыми девайсами, ловя фотоны и наблюдая, что происходит, когда они открывают двери. Через несколько часов возни они выясняют:

1. Если они открывают одну и ту же дверь на обоих коробках, лампочки горят всегда одним и тем же цветом.
2. Если они открывают двери двух коробок случайно, то один и тот же цвет появляется **ровно** в половине случаев.

После некоторых размышлений классический физик придумывает простое объяснение этому эксперименту. «В принципе, это не очень отличается от вчерашних коробок. Это можно объяснить так. Предположим, что вместо одного штампа каждый фотон из пары теперь имеет три штампа, как наличие нескольких паспортов. Каждая дверь коробки соответствует одному из таких штампов. Так, например, три штампа могут быть красным, зеленым, красным. Это будет значить, что индикатор за первой дверью будет мигать красным, за второй зеленым и за третьей тоже красным».

«Эта идея объясняет, что, когда мы открываем ту же дверь на обоих коробках, мы получаем тот же цвет, потому что обе коробки читают один и тот же штамп. Но когда мы открываем разные двери, устройства читают разные штампы, поэтому они могут давать разные результаты».

И снова объяснение классического физика просто и не касается никаких модных понятий, как квантовая запутанность или принцип неопределенности.

«Не так быстро, — говорит квантовый физик, который только что закончил строчить расчет в своем блокноте. — Когда мы открываем двери наугад, то обнаруживаем, что в половине раз огни мигают одним и тем же цветом. Это число — 0.5 — в точности совпадает с предсказаниями квантовой механики. Но согласно вашей „теории скрытых параметров“, лампочки должны мигать одним и тем же цветом больше половины раз!»

«Согласно идее скрытых параметров, есть 8 возможных комбинаций штампов, которые фотоны могут иметь. Давайте называть их по первым буквам цветов для краткости, так RRG = красный, красный, зеленый (red, red, green)».

RRG
RGR
GRR
GGR
GRG
RGG
RRR
GGG

«Теперь, если мы выбираем двери рандомно, то в трети случаев мы выберем одну и ту же дверь и увидим тот же цвет».

«Остальные две трети времени мы выбираем разные двери. Скажем, мы имеем дело с фотонами со следующей конфигурацией штампов»:

RRG

«В такой конфигурации, если мы выбрали дверь 1 на одной коробке и дверь 2 на другой, индикаторы светятся одинаковыми цветами (красный и красный). Но если мы выбрали двери 1 и 3 или двери 2 и 3 — цвета разные (красный и зеленый). Таким образом, в одной трети таких случаев коробки дают один и тот же цвет».

«Подводя итог. В трети случаев коробки имеют одинаковые цвета, потому что мы выбрали одинаковые двери. Две трети времени мы выбираем разные двери, и в одной трети этих случаев мы получим один и тот же цвет».

«Посчитаем»:

$$\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{3}{9} + \frac{2}{9} = \frac{5}{9} = 55.55\%$$

«55.55% — вероятность того, что ящики зажгутся одним и тем же цветом, когда мы выбираем две двери наугад, в соответствии с теорией скрытых параметров».

«Но подождите! Мы разобрали только одну комбинацию — RRG. А как же остальные? Быстро взглянув, можно заметить, что математика остаётся точно такой же во всех следующих случаях»:

RRG
RGR
GRR
GGR
GRG
RGG

«Остаётся два варианта»:

RRR
GGG

«В этих ситуациях мы получим одинаковые цвета независимо от того, какие двери мы выберем. Таким образом, шансы выбрать один и тот же цвет только *увеличиваются*».

«Кульминацией является то, что согласно идее скрытых параметров, шансы коробок мигать одним и тем же цветом, когда мы открываем двери наугад — не менее 55.55%. Но согласно квантовой механике, ответ составляет 50%. Экспериментальные данные согласуются с квантовой механикой, и это исключает теорию скрытых параметров».

Можно сделать паузу и подумать, что мы только что показали.

Мы рассмотрели новаторский аргумент в квантовой механике, известный как [Теорема Белла](#)^[3]. Черные ящики в действительности не мигают красными и зелеными огнями, но ключевые детали совпадают с [реальными экспериментами](#)^[4], которые измеряют поляризацию спутанных фотонов.

Теорема Белла рисует линию на песке между странным квантовым миром и классическим миром, который мы знаем и любим. Это доказывает, что теории скрытых параметров и схожие с ними теории, которые Эйнштейн и его приятели придумали, не отображают реальный мир. Вместо этого появляется квантовая механика с её частицами, которые могут быть сцеплены на огромных расстояниях. Когда вы возмущаете квантовое состояние одной из этих запутанных частиц, вы мгновенно возмущаете состояние другой независимо от того, где во Вселенной она находится.

Отрадно думать, что мы могли бы объяснить странности квантовой механики, если бы вообразили повседневные частицы с маленькими невидимыми механизмами внутри или невидимыми штампами, или спрятанными записными книжками, или чем-то ещё — некоторыми скрытыми переменными, к которым мы не имеем доступа и которые хранят «реальные» координаты и импульс, и другие подробности о частице. Комфортно думать, что на фундаментальном уровне реальность ведет себя классически и что наша неуклюжая теория не позволяет нам заглянуть в этот скрытый регистр. Но Теорема Белла лишает нас этого комфорта. Реальность **размыта**, и мы просто должны привыкнуть к

этому факту.



References

1. [парадокс ЭПР](#)
(
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%81_%D0%AD%D0%B9%D0%BD%D1%88%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%E2%80%94%D0%9
)
2. [Теория скрытых параметров](#)
(
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D1%8B%D1%85_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1
)
3. [Теорема Белла](#)
(
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0_%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0
)
4. [реальными экспериментами](#)
(http://en.wikipedia.org/wiki/Bell_test_experiments)

Отрывок из веб-страницы: *Эксперимент, который навсегда изменил наше представление о реальности / Geektimes*
<https://geektimes.ru/post/225583/>