

Можно экспериментально определить, имеются ли в квантовой механике неучтенные скрытые параметры.

«Бог не играет в кости со Вселенной».

Этими словами Альберт Эйнштейн бросил вызов коллегам, разрабатывавшим новую теорию — квантовую механику. По его мнению, принцип неопределенности Гейзенберга и уравнение Шрёдингера вносили в микромир нездоровую неопределенность. Он был уверен, что Создатель не мог допустить, чтобы мир электронов так разительно отличался от привычного мира ньютоновских бильярдных шаров. Фактически, на протяжении долгих лет Эйнштейн играл роль адвоката дьявола в отношении квантовой механики, выдумывая хитроумные парадоксы, призванные завести создателей новой теории в тупик. Тем самым, однако, он делал доброе дело, серьезно озадачивая теоретиков противоположного лагеря своими парадоксами и заставляя глубоко задумываться над тем, как их разрешить, что всегда бывает полезно, когда разрабатывается новая область знаний.

Есть странная ирония судьбы в том, что Эйнштейн вошел в историю как принципиальный оппонент квантовой механики, хотя первоначально сам стоял у ее истоков. В частности, Нобелевскую премию по физике за 1921 год он получил вовсе не за теорию относительности, а за объяснение фотоэлектрического эффекта на основе новых квантовых представлений, буквально захлестнувших научный мир в начале XX века.

Больше всего Эйнштейн протестовал против необходимости описывать явления микромира в терминах вероятностей и волновых функций (см. Квантовая механика), а не с привычной позиции координат и скоростей частиц. Вот что он имел в виду под «игрой в кости». Он признавал, что описание движения электронов через их скорости и координаты противоречит принципу неопределенности. Но, утверждал Эйнштейн, должны существовать еще какие-то переменные или параметры, с учетом которых квантово-механическая картина микромира вернется на путь целостности и детерминизма. То есть, настаивал он, нам только кажется, будто Бог играет с нами в кости, потому что мы не всё понимаем. Тем самым он первым сформулировал *гипотезу скрытой переменной* в уравнениях квантовой механики. Она состоит в том, что на самом деле электроны имеют фиксированные координаты и скорость, подобно ньютоновским бильярдным шарам, а принцип неопределенности и вероятностный подход к их определению в рамках квантовой механики — результат неполноты самой теории, из-за чего она и не позволяет их доподлинно определить.

Теорию скрытой переменной можно наглядно представить примерно так: физическим обоснованием принципа неопределенности служит то, что измерить характеристики квантового объекта, например электрона, можно лишь через его взаимодействие с другим квантовым объектом; при этом состояние измеряемого объекта изменится. Но, возможно, есть какой-то иной способ измерения с использованием неизвестных нам пока что инструментов. Эти инструменты (назовем их «субэлектронами»), возможно, будут взаимодействовать с квантовыми объектами, не изменяя их свойств, и принцип неопределенности будет неприменим к таким измерениям. Хотя никаких фактических данных в пользу гипотез такого рода не имелось, они призрачно маячили на обочине главного пути развития квантовой механики — в основном, я полагаю, по причине психологического дискомфорта, испытываемого многими учеными из-за необходимости отказа от устоявшихся ньютоновских представлений об устройстве Вселенной.

И вот в 1964 году Джон Белл получил новый и неожиданный для многих теоретический результат. Он доказал, что можно провести определенный эксперимент (подробности чуть позже), результаты которого позволят определить, действительно ли квантово-механические объекты описываются волновыми функциями распределения вероятностей, как они есть, или же имеется скрытый параметр, позволяющий точно описать их положение и импульс, как у ньютоновского шарика. Теорема Белла, как ее теперь называют, показывает, что как при наличии в квантово-механической теории скрытого параметра, влияющего на *любую* физическую характеристику квантовой частицы, так и при отсутствии такового можно провести серийный эксперимент, статистические результаты которого подтвердят или опровергнут наличие скрытых параметров в квантово-механической теории. Условно говоря, в одном случае статистическое соотношение составит не более 2:3, а в другом — не менее 3:4.

(Тут я хочу в скобках заметить, что в том году, когда Белл доказал свою теорему, я был студентом-старшекурсником в Стэнфорде. Рыжебородого, с сильным ирландским акцентом Белла было трудно не заметить. Помню, я стоял в коридоре научного корпуса Стэнфордского линейного ускорителя, и тут он вышел из своего кабинета в состоянии крайнего возбуждения и во всеуслышание заявил, что только что обнаружил по-настоящему важную и интересную вещь. И, хотя доказательств на этот счет у меня нет никаких, мне очень хотелось бы надеяться, что я в тот день стал невольным свидетелем его открытия.)

Однако опыт, предлагаемый Беллом, оказался простым только на бумаге и поначалу казался практически невыполнимым. Эксперимент должен был выглядеть так: под внешним воздействием атом должен был синхронно испустить две частицы, например два фотона, причем в противоположных направлениях. После этого нужно было уловить эти частицы и инструментально определить направление спина каждой и сделать это

тысячекратно, чтобы накопить достаточную статистику для подтверждения или опровержения существования скрытого параметра по теореме Белла (выражаясь языком математической статистики, нужно было рассчитать *коэффициенты корреляции* ).

Самым неприятным сюрпризом для всех после публикации теоремы Белла как раз и стала необходимость проведения колоссальной серии опытов, которые в ту пору казались практически невыполнимыми, для получения статистически достоверной картины. Однако не прошло и десятилетия, как ученые-экспериментаторы не только разработали и построили необходимое оборудование, но и накопили достаточный массив данных для статистической обработки. Не вдаваясь в технические подробности, скажу лишь, что тогда, в середине шестидесятых, трудоемкость этой задачи казалась столь чудовищной, что вероятность ее реализации представлялась равной тому, как если бы кто-то задумал посадить за пишущие машинки миллион дрессированных обезьян из пословицы в надежде отыскать среди плодов их коллективного труда творение, равное Шекспиру.

Когда в начале 1970-х годов результаты экспериментов были обобщены, всё стало предельно ясно. Волновая функция распределения вероятностей совершенно безошибочно описывает движение частиц от источника к датчику. Следовательно, уравнения волновой квантовой механики не содержат скрытых переменных. Это единственный известный случай в истории науки, когда блестящий теоретик доказал *возможность*

экспериментальной проверки гипотезы и дал обоснование *метода*

такой проверки, блестящие экспериментаторы титаническими усилиями провели сложный, дорогостоящий и затяжной эксперимент, который в итоге лишь подтвердил и без того господствующую теорию и даже не внес в нее ничего нового, в результате чего все почувствовали себя жестоко обманутыми в ожиданиях!

Однако не все труды пропали даром. Совсем недавно ученые и инженеры к немалому собственному удивлению нашли теореме Белла весьма достойное практическое применение. Две частицы, испускаемые источником на установке Белла, являются *когерентными*

(имеют одинаковую волновую фазу), поскольку испускаются синхронно. И это их свойство теперь собираются использовать в криптографии для шифровки особо секретных сообщений, направляемых по двум отдельным каналам. При перехвате и попытке дешифровки сообщения по одному из каналов когерентность мгновенно нарушается (опять же в силу принципа неопределенности), и сообщение неизбежно и мгновенно самоуничтожается в момент нарушения связи между частицами.

А Эйнштейн, похоже, был неправ: Бог все-таки играет в кости со Вселенной. Возможно, Эйнштейну все-таки следовало прислушаться к совету своего старого друга и коллеги Нильса Бора, который, в очередной раз услышав старый припев про «игру в кости», воскликнул: «Альберт, перестань же ты, наконец, указывать Богу, что ему делать!»