

Почему измерение «ломает» квантовую реальность: история, теории и нерешённая загадка



Дата публикации: 02.01.2026

Квантовая механика — одна из самых успешных теорий в истории науки. Она позволяет рассчитывать свойства атомов, полупроводников, лазеров, ядерных реакций и квантовых компьютеров с поразительной точностью. Но в самом её центре находится концептуальная трещина, которая уже более ста лет вызывает споры, недоумение и философские конфликты. Эта трещина связана с измерением. До момента измерения состояние квантовой системы эволюционирует строго по математическому закону, описываемому уравнением Шрёдингера. Эта эволюция непрерывна, детерминирована и обратима. Но в момент измерения происходит нечто принципиально иное: система «выбирает» один конкретный результат из множества возможных, и этот выбор не выводится из уравнений движения.

Исторически проблема возникла почти сразу после рождения квантовой механики в 1920-х годах. Создатели теории, включая Нильс Бор, Вернер Гейзенберг и Эрвин Шрёдингер, прекрасно понимали, что математический

формализм не объясняет, что именно происходит при наблюдении. Бор предложил так называемую копенгагенскую интерпретацию, согласно которой квантовая система не имеет определённых свойств до измерения, а сам акт измерения принципиально неразделим с классическим прибором. Это была не столько физическая модель, сколько философский компромисс, позволявший «заткнуть дыру» и продолжать расчёты.

В 1932 году Джон фон Нейман попытался формализовать измерение строго математически. Он показал, что если рассматривать измерительный прибор как квантовую систему, то он тоже должен входить в суперпозицию. Более того, цепочка «частица — прибор — наблюдатель» может быть продолжена сколь угодно далеко. Это привело к парадоксу: если всё подчиняется квантовой механике, то коллапс нигде не происходит. Чтобы избежать этого, фон Нейман ввёл постулат о специальном процессе измерения, который не выводится из уравнений. Так коллапс волновой функции стал отдельным аксиоматическим элементом теории.

Классический мысленный эксперимент Шрёдингера с котом наглядно демонстрирует абсурдность ситуации. Кот оказывается одновременно живым и мёртвым до момента наблюдения, если следовать формализму буквально. Этот пример не задумывался как иллюстрация «странности» квантовой механики для широкой публики, а был направлен против некритичного принятия копенгагенской интерпретации. Шрёдингер хотел показать, что перенос квантовой суперпозиции на макроскопический уровень выглядит логически неприемлемым.

Во второй половине XX века появились альтернативные попытки решить проблему. В 1957 году Хью Эверетт предложил многомировую интерпретацию, в которой коллапса не существует вовсе. При измерении Вселенная якобы ветвится на состояния, соответствующие всем возможным исходам. Математика при этом сохраняется полностью, но цена решения — радикальное расширение онтологии. Возникает вопрос, почему мы субъективно наблюдаем только одну ветвь и что вообще означает «реальность» остальных.

В 1970-х годах был введён механизм декогеренции, связанный с взаимодействием квантовой системы с окружающей средой. Он объясняет, почему суперпозиции макроскопических состояний практически не наблюдаются: фазы быстро «размываются» из-за огромного числа степеней свободы. Однако декогеренция не решает проблему полностью. Она объясняет, почему интерференция исчезает, но не объясняет, почему возникает один конкретный результат, а не просто смесь возможностей.

Существуют и более радикальные подходы, такие как объективные теории

коллапса, где редукция волновой функции считается реальным физическим процессом, зависящим от массы или масштаба системы. Эти теории делают проверяемые предсказания, но пока не получили экспериментального подтверждения. Другие интерпретации, например QBism, трактуют волновую функцию как инструмент субъективных ожиданий наблюдателя, а не описание объективной реальности, что снова уводит проблему в философию.

Экспериментальные факты лишь усиливают загадку. Эксперименты с интерференцией одиночных электронов и фотонов показывают, что частица ведёт себя как волна до измерения и как точка после. Нарушения неравенств Белла подтверждают, что нельзя объяснить квантовые корреляции локальными скрытыми параметрами. Современные эксперименты с отложенным выбором демонстрируют, что решение о типе измерения можно принять уже после того, как частица прошла установку, и результат всё равно будет согласован с этим выбором.

Существует точка зрения, согласно которой проблема измерения указывает не на изъян квантовой механики как вычислительного аппарата, а на ограниченность нашего представления о структуре реальности. В этом подходе измерение рассматривается не просто как физическое взаимодействие и не только как акт получения информации, а как проявление более глубокой связи между квантовыми состояниями, временем и причинностью. Коллапс волновой функции может быть не отдельным физическим процессом в привычном смысле, а границей применимости самого понятия состояния. Квантовая механика продолжает демонстрировать безупречную предсказательную точность, однако её молчание о природе измерения может указывать на то, что фундаментальные основания реальности лежат глубже современных концепций пространства, времени и объекта.