

## Эксперимент XENONnT не нашёл свечения коллапса: почему кот Шрёдингера не бывает живым и мёртвым одновременно



Дата публикации: 20.05.2026

Квантовая физика уже больше века остаётся источником самых странных и парадоксальных идей в науке. Электроны способны находиться сразу в нескольких состояниях, атомы могут проходить через две щели одновременно, а элементарные частицы описываются не как материальные точки, а как волны вероятности, размазанные в пространстве. Однако привычный мир ведёт себя совершенно иначе. Человек никогда не видит стул одновременно в двух местах, а кот не бывает сразу живым и мёртвым. Именно здесь возникает одна из главных проблем современной физики — где проходит граница между квантовой неопределённостью и классической реальностью. В 2026 году эксперимент XENONnT сделал ещё один шаг к ответу на этот вопрос, не обнаружив загадочное свечение, которое должны были породить некоторые теории квантового коллапса.

Согласно стандартной квантовой механике, состояние частицы описывается волновой функцией. Она определяет вероятности всех возможных результатов

измерения. Пока наблюдение не выполнено, система существует сразу во множестве состояний одновременно. Такое состояние называют суперпозицией. Но как только происходит измерение, волновая функция мгновенно схлопывается, и частица оказывается в одном конкретном состоянии. Этот переход называется коллапсом волновой функции. Проблема в том, что сама теория не объясняет механизм коллапса. Она лишь утверждает, что он происходит.

Чтобы устранить этот парадокс, физики разработали альтернативные модели, в которых коллапс рассматривается как реальный физический процесс. Наиболее известны теории GRW и CSL. Они предполагают, что волновая функция разрушается спонтанно даже без участия наблюдателя. Каждая частица периодически испытывает случайную локализацию. Для атомов и электронов такие события чрезвычайно редки, поэтому микромир сохраняет квантовое поведение. Но для крупных объектов вероятность коллапса резко возрастает. Именно поэтому макроскопические тела всегда выглядят локализованными и определёнными.

У этих моделей есть важное экспериментальное следствие. Если коллапс является физическим процессом, он должен сопровождаться выделением энергии. При спонтанной локализации заряженных частиц, например электронов и протонов, должны возникать фотоны в диапазоне примерно 1-100 килоэлектронвольт. Это слабое рентгеновское излучение получило неофициальное название свечения коллапса. Если такие фотоны существуют, их можно попытаться зарегистрировать. Если же детекторы не находят сигнал, пространство допустимых параметров теории резко сокращается.

Для поиска этого эффекта идеально подходят установки, созданные для изучения тёмной материи. Подобные детекторы обладают колоссальной чувствительностью и минимальным уровнем фонового шума. Они располагаются глубоко под землёй, где массивы горных пород экранируют космические лучи и другие помехи. Один из самых совершенных детекторов такого типа — XENONnT в подземной лаборатории Гран-Сассо в Италии. Установка содержит 8.5 тонн сверхчистого жидкого ксенона, способного регистрировать даже крайне слабые фотонные сигналы.

Физики использовали данные, собранные детектором за 219 дней непрерывной работы. Сначала были рассчитаны спектры излучения, которые должны возникать в разных вариантах теории CSL. Затем эти предсказания сравнили с реальными событиями внутри детектора. Если бы спонтанный коллапс происходил с интенсивностью, предсказываемой рядом популярных моделей, установка должна была увидеть заметное превышение числа фотонов в определённом энергетическом диапазоне.

Однако эксперимент не обнаружил никакого аномального сигнала. Детектор не зарегистрировал излучения, которое можно было бы связать со спонтанным коллапсом волновой функции. Чувствительность XENONnT оказалась настолько высокой, что удалось исключить целый набор моделей CSL, включая некоторые варианты параметризации QE. Это означает, что если механизм коллапса действительно существует, он либо происходит гораздо реже, либо сопровождается намного меньшим выделением энергии, чем предполагалось ранее.

Результат не уничтожает теории спонтанной локализации, но серьёзно ограничивает их возможности. В современной физике это считается нормальным развитием науки: теория делает проверяемое предсказание, эксперимент проверяет его, а отсутствие эффекта заставляет пересматривать параметры модели. Всё большую популярность получают гипотезы, связывающие коллапс не с электромагнитными процессами, а с гравитацией. В таких схемах заметного рентгеновского свечения может вообще не возникать.

Следующее поколение установок, включая XLZD и DARWIN, будет ещё чувствительнее. Они смогут проверять гораздо более слабые версии коллапса и искать сигналы, которые сегодня остаются ниже порога обнаружения. Одновременно развиваются альтернативные подходы к проблеме измерения, например теория декогеренции. Она объясняет исчезновение квантовой суперпозиции взаимодействием системы с окружающей средой без необходимости физического схлопывания волновой функции.

Именно вокруг этой проблемы построен знаменитый мысленный эксперимент Шрёдингера. Его цель заключалась не в доказательстве существования живого и мёртвого кота одновременно, а в демонстрации абсурдности прямого переноса квантовых эффектов на макромир. Если атом способен находиться в суперпозиции, почему этого нельзя сделать с котом. Теории спонтанного коллапса отвечают на этот вопрос просто: для больших объектов коллапс происходит практически мгновенно, поэтому суперпозиция разрушается ещё до того, как её можно наблюдать.

Эксперимент XENONnT показывает, насколько сильно изменилась современная фундаментальная физика. Проблема квантового коллапса постепенно перестаёт быть чисто философским вопросом. Теперь её проверяют огромные подземные детекторы, сверхчувствительные сенсоры и реальные измерения. Пока точного ответа на вопрос о природе квантового мира нет. Но уже известно, что некоторые популярные модели коллапса не работают так, как предполагалось. Следующий этап — ещё более точные эксперименты и новые идеи о том, как именно устроена граница между квантовой неопределённостью и привычной реальностью.