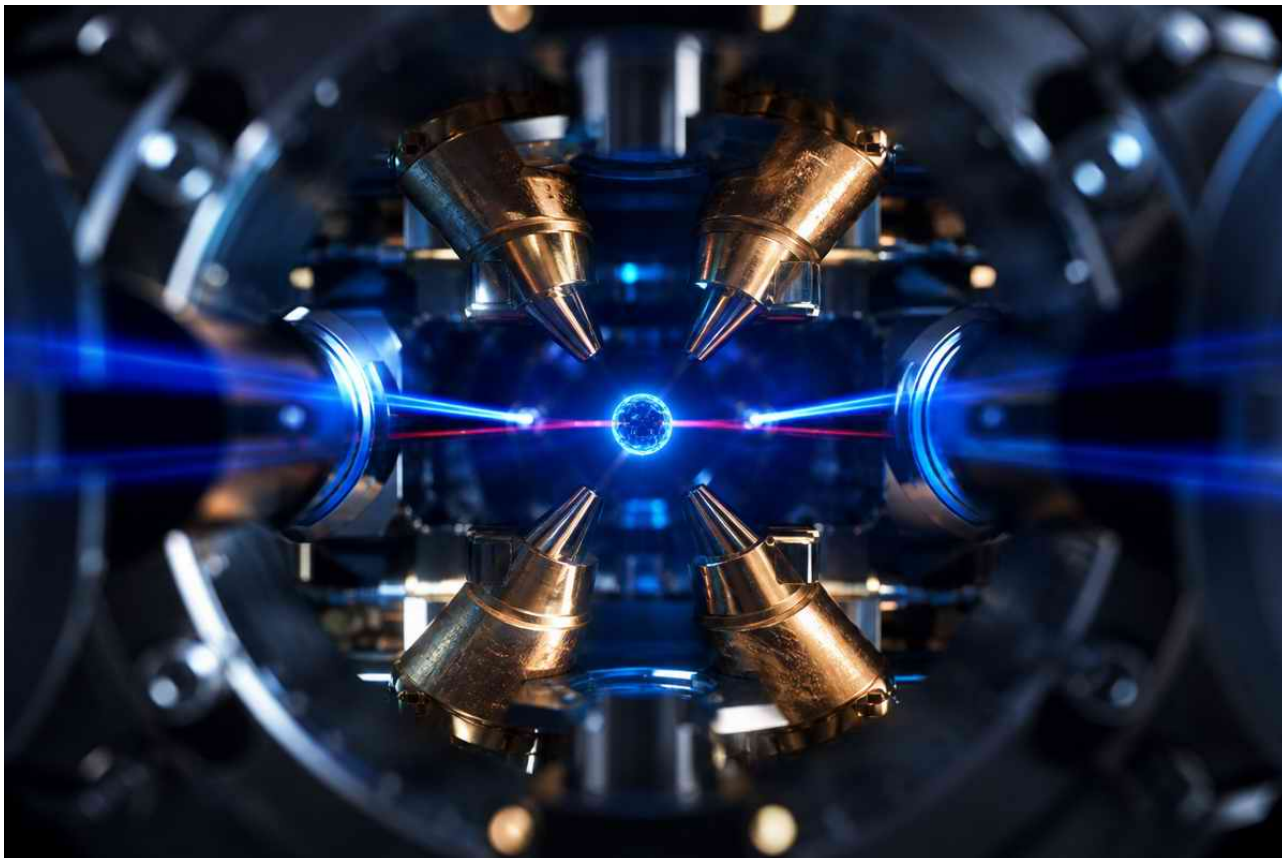


Физики впервые реализовали квантовое «четверное сжатие» и открыли новый тип взаимодействий



Дата публикации: 02.05.2026

Физики из University of Oxford сообщили о важном прорыве в области квантовых технологий, впервые экспериментально реализовав эффект так называемого «четверного сжатия» — сложного квантового взаимодействия, которое ранее существовало лишь в теоретических моделях. Исследование открывает новый способ управления квантовыми системами и может сыграть важную роль в развитии квантовых компьютеров, сверхчувствительных датчиков и методов моделирования фундаментальных физических процессов.

Результаты работы опубликованы в журнале Nature Physics и уже рассматриваются специалистами как одно из наиболее необычных достижений в современной квантовой инженерии.

В основе эксперимента лежит управление квантовым гармоническим осциллятором — фундаментальной моделью, используемой практически во всех областях квантовой физики. Такие осцилляторы описывают огромное количество

систем: колебания световых волн, вибрации молекул, движение атомов и даже поведение некоторых квантовых полей.

В эксперименте исследователи использовали одиночный захваченный ион — электрически заряженный атом, удерживаемый в вакууме с помощью электромагнитных полей. Подобные системы считаются одной из наиболее перспективных платформ для создания квантовых вычислительных устройств благодаря высокой точности контроля и минимальному уровню шума.

Ключевым элементом работы стало использование эффекта квантового сжатия Quantum Squeezing. В квантовой механике существует фундаментальное ограничение, известное как принцип неопределенности Гейзенберга Heisenberg Uncertainty Principle. Он утверждает, что некоторые пары физических характеристик, например положение и импульс частицы, невозможно измерить одновременно с абсолютной точностью.

Сжатие позволяет перераспределять квантовую неопределенность. Одна характеристика измеряется точнее обычного, тогда как неопределенность второй возрастает. Такой эффект уже используется в современной науке — например, в обсерватории LIGO для повышения чувствительности детекторов гравитационных волн.

Однако традиционное квантовое сжатие относится лишь к простейшему уровню подобных взаимодействий. Физики давно предполагали существование более сложных вариантов — тройного и четверного сжатия, при которых взаимодействия становятся нелинейными и намного более богатыми с точки зрения квантовой динамики.

Проблема заключалась в том, что такие эффекты чрезвычайно трудно реализовать экспериментально. Чем выше порядок взаимодействия, тем слабее становится сам эффект и тем быстрее он разрушается под воздействием шума окружающей среды. В результате наблюдать подобные состояния на практике долгое время считалось почти невозможным.

Команда из Оксфорда нашла оригинальный способ обойти это ограничение. Вместо попытки напрямую создать крайне слабое взаимодействие четвертого порядка ученые использовали комбинацию двух контролируемых сил, воздействующих на захваченный ион одновременно.

Каждое из этих воздействий по отдельности вызывало относительно простую линейную динамику. Однако при совместном применении возникал эффект некоммутативности — важное свойство квантовой механики, при котором порядок применения операций влияет на итоговый результат.

Именно благодаря этой особенности исследователи смогли создать новое взаимодействие, существенно превосходящее обычную сумму отдельных эффектов. В результате удалось реализовать не только стандартное и тройное сжатие, но и полноценное четверное квантовое сжатие — впервые в истории экспериментальной физики.

По словам ученых, скорость генерации взаимодействия четвертого порядка оказалась более чем в сто раз выше, чем ожидалось при использовании традиционных методов. Это особенно важно, поскольку квантовые состояния крайне чувствительны к внешнему шуму и могут быстро разрушаться.

Для подтверждения результата исследователи выполнили реконструкцию квантового состояния движения иона. Измерения показали характерные структуры, соответствующие различным типам квантового сжатия второго, третьего и четвертого порядков. Эти данные стали прямым доказательством существования ранее недоступного типа взаимодействия.

Открытие может иметь далеко идущие последствия для квантовых технологий. Одной из ключевых проблем современных квантовых компьютеров остается сложность управления большим количеством взаимосвязанных квантовых состояний. Новые методы нелинейного взаимодействия могут значительно расширить возможности квантовых процессоров и сделать их более устойчивыми к ошибкам.

Кроме вычислений, подобные состояния представляют огромный интерес для квантовой метрологии — области, занимающейся сверхточными измерениями. Квантовое сжатие позволяет создавать датчики с чувствительностью, недостижимой для классических технологий. Это может быть важно для навигации, поиска гравитационных волн, магнитометрии и фундаментальных физических экспериментов.

Исследователи также считают, что новый подход может использоваться для квантового моделирования сложных систем. Некоторые процессы в физике элементарных частиц, астрофизике и теории поля практически невозможно напрямую изучать экспериментально. Квантовые симуляторы позволяют воспроизводить подобные явления в контролируемой лабораторной среде.

Особенно важно, что предложенный метод не ограничивается только захваченными ионами. Поскольку он основан на универсальных квантовых принципах, аналогичные схемы могут быть реализованы и на других платформах: сверхпроводящих кубитах, фотонных системах, квантовых точках и нейтральных атомах.

Современная квантовая физика постепенно переходит от наблюдения

отдельных эффектов к полноценному «проектированию» новых типов взаимодействий. Если раньше ученые лишь изучали свойства квантового мира, то теперь они начинают создавать искусственные квантовые процессы с заранее заданными характеристиками.

Работа оксфордской группы демонстрирует, насколько быстро развивается эта область. Еще несколько лет назад эффекты четверного квантового сжатия считались практически недостижимыми, а сегодня исследователи уже обсуждают их применение в реальных квантовых технологиях.

По мнению специалистов, подобные достижения приближают физику к новому этапу, на котором управление сложными квантовыми взаимодействиями станет столь же обычным инструментом, как управление электрическими цепями в современной электронике.

Ссылка: «Сжатие, тройное и четверное сжатие в гибридной системе осциллятор-спин» DOI: [10.1038/s41567-026-03222-6](https://doi.org/10.1038/s41567-026-03222-6).