

Учёные создали закрученные электронные волны: новый шаг к управлению материей на квантовом уровне

Дата публикации: 12.06.2026

Современная физика всё глубже проникает в мир процессов, происходящих на атомных и субатомных масштабах. Именно там рождаются химические реакции, формируются магнитные свойства материалов, передаётся информация в электронных устройствах и возникают многие фундаментальные квантовые эффекты. Однако наблюдать и тем более контролировать эти процессы чрезвычайно сложно, поскольку они разворачиваются за невероятно короткие промежутки времени и на расстояниях, сравнимых с размерами отдельных атомов.

Исследователи из Университета Констанца в Германии представили новую технологию управления электронными волнами, которая может существенно расширить возможности изучения квантового мира. Учёным удалось создать электронные пучки со сверхбыстрым внутренним крутящим моментом — особым видом вращательного движения, ранее практически недоступным для контроля на столь малых масштабах.

Открытие относится к области квантовой механики, где частицы обладают двойственной природой и могут проявлять свойства как частиц, так и волн. Для описания поведения таких объектов используются волновые функции — математические структуры, определяющие вероятность обнаружения частицы в том или ином состоянии.

Контроль формы и структуры волновых функций считается одной из важнейших задач современной квантовой физики. Возможность изменять параметры электронных волн позволяет не только глубже изучать свойства материи, но и создавать новые технологии, основанные на управлении квантовыми состояниями.

Особый интерес вызывает угловой момент — фундаментальная физическая величина, связанная с вращением. В классическом мире его легко представить на примере вращающегося волчка или планеты. Однако в квантовом мире угловой момент приобретает значительно более сложный характер и становится важной характеристикой электронов, атомов и других микроскопических объектов.

До настоящего времени исследователям удавалось создавать закрученные

световые импульсы и управлять их вращательными свойствами с помощью лазеров. Однако перенос подобных методов на электронные волны оказался значительно более сложной задачей. Электроны обладают массой и взаимодействуют с окружающей средой иначе, чем фотоны, поэтому традиционные лазерные методы имеют серьёзные ограничения.

Новый подход позволил преодолеть многие из этих препятствий. Исследователи использовали специальную схему взаимодействия электронных волн с закрученными лазерными полями. В результате разные участки электронной волны получали различные фазовые сдвиги, что приводило к формированию сложной внутренней структуры вращения.

Фактически учёным удалось создать своеобразные «скрученные» электронные волновые пакеты, способные менять направление своей хиральности — то есть переходить от левостороннего вращения к правостороннему и обратно за фемтосекунды. Для сравнения, одна фемтосекунда составляет одну квадриллионную долю секунды. За такое время свет проходит расстояние меньше толщины человеческого волоса.

Особенность новой технологии заключается в том, что электронные импульсы сохраняют чрезвычайно малые размеры и могут быть сфокусированы практически до масштаба отдельных атомов. Это открывает уникальные возможности для изучения процессов, которые до сих пор оставались недоступными для прямого наблюдения.

Полученные электронные волны можно представить как миниатюрный винт, разные участки которого вращаются в противоположных направлениях. Подобные структуры обладают необычными физическими свойствами и способны взаимодействовать с веществом принципиально новым образом.

Исследователи считают, что такие электронные пучки могут стать мощным инструментом для изучения спинов электронов, магнитных свойств материалов, динамики молекул и других квантовых процессов. Особенно перспективным выглядит применение технологии для исследования сверхбыстрых изменений, происходящих в материалах после воздействия света, электрических импульсов или магнитных полей.

Большое значение работа имеет и для развития электронной микроскопии. Современные электронные микроскопы уже позволяют различать отдельные атомы, однако получение информации о квантовых состояниях вещества остаётся сложной задачей. Новые закрученные электронные импульсы способны существенно повысить чувствительность измерений и расширить спектр наблюдаемых явлений.

Отдельный интерес представляет возможность использования таких электронов в качестве носителей квантовой информации. Благодаря сложной внутренней структуре волновой функции они потенциально могут хранить и передавать больше данных, чем обычные электронные состояния. В будущем это может оказаться полезным для создания новых архитектур квантовых вычислительных систем.

Работа также имеет фундаментальное значение для понимания природы материи. Учёные получили экспериментальное подтверждение существования необычных квантовых состояний, которые ещё недавно рассматривались лишь как теоретические конструкции. Это демонстрирует, насколько богатыми могут быть формы организации электронных волн и насколько далеко современные технологии продвинулись в управлении квантовыми объектами.

Интересно, что созданные электронные структуры находятся на границе сразу нескольких научных направлений: квантовой физики, фотоники, материаловедения, электронной микроскопии и квантовых вычислений. Именно такие междисциплинарные исследования сегодня становятся источником многих технологических прорывов.

В ближайшие годы исследователи планируют продолжить развитие сверхбыстрой электронной микроскопии и проверить, как закрученные электронные волны взаимодействуют с различными материалами. Особое внимание будет уделено магнитным структурам, квантовым материалам, наночастицам и сложным молекулярным системам.

Новая технология показывает, что управление материей на уровне отдельных электронов постепенно переходит из области научной фантастики в практическую науку. Возможность задавать электронным волнам сложные вращательные свойства открывает путь к созданию новых инструментов исследования природы и может стать одной из важных основ будущих квантовых технологий.

Ссылка: «Электронные волновые процессы с внутренним крутящим моментом» DOI: [10.1038/s41567-026-03308-1](https://doi.org/10.1038/s41567-026-03308-1).