

Квантовое вращение в кристаллах удивило физиков: угловой момент внезапно меняет направление



Дата публикации: 18.05.2026

Международная группа исследователей впервые смогла напрямую проследить, как угловой момент распространяется внутри кристаллической решетки твердого тела. Эксперимент привел к неожиданному результату: во время передачи вращательного движения между атомными колебаниями направление вращения внезапно менялось на противоположное. Открытие уже называют одним из наиболее необычных проявлений квантовой механики в твердых телах за последние годы.

Работа была проведена учеными из Германии и Нидерландов при участии специалистов Центра Гельмгольца Дрезден-Россендорф и Института Фрица Хабера Общества Макса Планка. Результаты исследования опубликованы в журнале *Nature Physics* и могут существенно повлиять на развитие квантовых материалов, спинтроники и технологий сверхбыстрой обработки информации.

Угловой момент считается одной из фундаментальных физических величин

наряду с энергией и импульсом. В классической физике он связан с вращением объектов — например, колеса, гироскопа или планеты. Однако в квантовом мире угловой момент играет гораздо более глубокую роль и напрямую связан с магнетизмом, поведением электронов и свойствами кристаллов. Именно благодаря угловому моменту существуют магнитные материалы, жесткие диски, системы памяти и многие современные электронные устройства.

Еще в начале XX века Альберт Эйнштейн и Вандер Йоханнес де Хаас показали, что изменение намагниченности материала может вызывать механическое вращение. Этот знаменитый эксперимент стал одним из первых подтверждений тесной связи между магнетизмом и механическим движением. Однако наблюдать, как угловой момент перемещается внутри самого кристалла между атомными колебаниями, ученым долгое время не удавалось.

В новом исследовании физики использовали мощные терагерцовые лазерные импульсы, способные возбуждать сверхбыстрые колебания атомов. Один импульс запускал круговое движение атомов внутри кристаллической решетки, а второй фиксировал изменения с чрезвычайно высокой точностью. Фактически ученые создали своеобразную “стробоскопическую камеру” для наблюдения за движением атомов в реальном времени.

Эксперименты проводились на селениде висмута — квантовом материале с необычными электронными и магнитными свойствами. Именно в нем исследователи обнаружили неожиданный эффект: при взаимодействии двух колебательных состояний угловой момент не просто складывался, а переходил в новое состояние с противоположным направлением вращения. Если упростить описание, система вела себя так, будто $1 + 1 = -1$.

На первый взгляд подобное поведение кажется нарушением закона сохранения углового момента, однако физики подчеркивают, что фундаментальные законы природы остаются полностью соблюденными. Причина необычного эффекта связана со специальной вращательной симметрией кристаллической решетки. В квантовой системе некоторые состояния оказываются эквивалентными даже тогда, когда вращение происходит в противоположных направлениях. Именно эта особенность позволяет угловому моменту менять знак без нарушения законов физики.

Исследователи сравнивают обнаруженное явление с эффектом Умклаппа, хорошо известным в физике твердого тела. В подобных процессах симметрия кристалла способна изменять направление движения частиц или колебаний. Однако ранее аналогичное поведение для углового момента кристаллической решетки экспериментально не наблюдалось. По словам авторов работы, это первое прямое подтверждение существования такого механизма на квантовом

уровне.

Открытие может оказаться особенно важным для развития спинтроники — области науки и технологий, использующей не только электрический заряд электрона, но и его спин и угловой момент. Современные исследователи активно ищут способы сверхбыстрого управления магнитными состояниями материалов с помощью света и лазеров. Новый эффект показывает, что вращательные свойства кристаллов можно контролировать значительно тоньше, чем считалось ранее.

Практическое значение работы связано и с развитием новых типов памяти, квантовых вычислительных систем и энергоэффективной электроники. Если ученые научатся надежно управлять подобными процессами, это позволит создавать устройства, в которых информация будет переключаться за триллионные доли секунды с минимальными потерями энергии.

Кроме того, результаты исследования помогают глубже понять природу магнетизма в твердых телах. Несмотря на огромный прогресс современной физики, механизмы коллективного поведения атомов и электронов в сложных материалах до сих пор остаются одной из наиболее трудных областей науки. Наблюдение за переносом углового момента внутри кристалла открывает новые возможности для изучения скрытых процессов, определяющих свойства магнитных и квантовых материалов.

Физики считают, что в ближайшие годы подобные эксперименты будут активно расширяться. Сверхбыстрые лазерные технологии уже позволяют исследовать процессы, которые раньше считались практически недоступными для прямого наблюдения. Теперь ученые смогут изучать не только движение электронов, но и сложные коллективные вращения атомных структур внутри кристаллов.

Исследование также подчеркивает фундаментальную роль симметрии в современной физике. Именно симметрия определяет многие свойства материи — от поведения элементарных частиц до формирования сложных квантовых состояний. Новый эксперимент стал еще одним примером того, как необычные эффекты квантового мира возникают не вопреки законам природы, а благодаря их глубинной математической структуре.

Ссылка: «Наблюдение передачи углового момента между модами кристаллической решетки» DOI: [10.1038/s41567-026-03274-8](https://doi.org/10.1038/s41567-026-03274-8).