

Физики обнаружили в перовските квантовую вибрацию Хиггса, способную изменять структуру материала

Дата публикации: 08.06.2026

Международная группа исследователей совершила важный шаг в изучении квантовых материалов, впервые зафиксировав в полупроводниковом кристалле так называемую моду Хиггса — редкий коллективный режим колебаний, который способен временно изменять симметрию кристаллической структуры вещества. Открытие не только подтверждает фундаментальные представления современной физики конденсированного состояния, но и может открыть новые возможности для создания сверхбыстрой электроники, квантовых устройств и высокоэффективных солнечных элементов.

Работа была выполнена учёными Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США и опубликована в журнале Nature Materials. Исследование посвящено металлогалогенидным перовскитам — классу материалов, который в последние годы считается одним из самых перспективных для энергетики и фотоники.

На первый взгляд твёрдые материалы кажутся абсолютно неподвижными. Однако на атомном уровне их структура непрерывно находится в движении. Атомы совершают колебания вокруг своих положений равновесия, образуя сложную динамическую систему. В большинстве случаев эти движения хаотичны, но при определённых условиях они могут синхронизироваться и превращаться в коллективные волны, известные как фононы.

Фононы часто называют квантами звука внутри кристалла. Они играют ключевую роль во многих физических процессах, включая теплопроводность, сверхпроводимость и взаимодействие света с веществом. Управление такими колебаниями считается одним из наиболее перспективных направлений современной физики материалов.

В ходе экспериментов исследователи использовали сверхкороткие лазерные импульсы для возбуждения двумерного перовскитного кристалла. Вместо того чтобы создавать обычные электронные возбуждения, свет воздействовал непосредственно на атомные колебания структуры. В результате возник сложный коллективный режим движения атомов, который учёные идентифицировали как моду Хиггса.

Название этого эффекта связано с бозоном Хиггса, известным из физики

элементарных частиц. Хотя речь идёт о совершенно разных физических системах, математическое описание процессов имеет удивительное сходство. В обоих случаях наблюдаются колебания параметра порядка — характеристики, определяющей степень симметрии системы.

Для понимания явления физики часто используют аналогию с шаром на вершине идеально симметричного холма. Такое положение крайне неустойчиво. Малейшее возмущение заставляет шар скатиться в одну из многочисленных долин вокруг холма. Хотя законы системы остаются симметричными, конкретное состояние уже выбирает определённое направление, нарушая исходную симметрию. Именно такие процессы лежат в основе так называемого спонтанного нарушения симметрии — одного из важнейших понятий современной физики.

В исследуемом перовските лазерные импульсы заставляли атомы совершать согласованные движения сразу по нескольким направлениям. Эти колебания временно изменяли геометрию кристаллической решётки и приближали структуру к состоянию с более высокой симметрией. Фактически свет на короткое время перестраивал материал, заставляя его переходить в состояние, которое невозможно получить обычным нагревом.

Именно это обстоятельство вызывает особый интерес исследователей. Традиционно изменение фазового состояния вещества достигается путём изменения температуры, давления или химического состава. Однако в данном случае переход инициировался исключительно светом, без существенного нагрева материала.

Учёные обнаружили, что под воздействием лазерного излучения ширина запрещённой зоны полупроводника начинает быстро изменяться. Ширина запрещённой зоны определяет способность материала поглощать свет и проводить электрический ток. Изменение этого параметра означает, что электронные свойства кристалла можно контролировать практически мгновенно.

Исследователи сравнивают этот процесс с изменением цвета материала на квантовом уровне. В течение триллионных долей секунды кристалл многократно переходил между состояниями с различной симметрией, а его электронная структура непрерывно перестраивалась.

Особенно интересным оказалось то, что в формировании моды Хиггса участвовали сразу два взаимосвязанных колебательных режима. Вместо простой вибрации система демонстрировала сложную когерентную суперпозицию колебаний. Подобное поведение напоминает музыкальный инструмент, в

котором одновременно звучат несколько гармоник, образуя единый резонансный рисунок.

Даже при увеличении мощности лазерных импульсов частоты этих колебаний оставались синхронизированными. Такая устойчивость свидетельствует о глубокой квантовой природе наблюдаемого явления и указывает на существование фундаментальных механизмов, удерживающих систему в когерентном состоянии.

Перовскиты сегодня считаются одним из наиболее перспективных классов материалов для технологий будущего. Их эффективность в преобразовании солнечного света стремительно растёт, а простота производства делает их потенциальной альтернативой традиционному кремнию. Возможность дополнительно управлять их свойствами при помощи света открывает совершенно новые направления исследований.

Практическое значение открытия может оказаться весьма широким. Если учёные научатся стабилизировать светоиндуцированные высокосимметричные фазы, появится возможность создавать материалы с заранее заданными электронными характеристиками. Это позволит разрабатывать сверхбыстрые оптические переключатели, новые элементы квантовых компьютеров, фотонные процессоры и более эффективные солнечные батареи.

Особый интерес вызывает перспектива создания устройств, способных переключаться между различными состояниями за пикосекунды. Пикосекунда составляет одну триллионную долю секунды, поэтому подобные технологии смогут работать в миллионы раз быстрее многих современных электронных компонентов.

Исследование также демонстрирует, насколько мощным инструментом становится свет в управлении свойствами вещества. Если раньше лазеры в основном использовались для изучения материалов, то теперь они всё чаще рассматриваются как средство активного изменения их структуры и функциональности.

Физики считают, что обнаружение моды Хиггса в полупроводниковом перовските является лишь первым шагом. В ближайшие годы учёные планируют исследовать другие светоиндуцированные состояния вещества и попытаться создать новые фазы материалов, которые невозможно получить традиционными методами. Такие работы могут привести к появлению принципиально новых классов квантовых устройств и существенно расширить возможности современной электроники, фотоники и энергетики.

Ссылка: «Метастабильная тетрагональная фаза в двумерных решетках галогенидных перовскитов, обусловленная когерентной модой Хиггса» DOI: [10.1038/s41563-025-02433-1](https://doi.org/10.1038/s41563-025-02433-1).