

# Как свет продлевает жизнь квантовым состояниям: прорыв в управлении метастабильными электронами

Дата публикации: 06.06.2025

Квантовые материалы обладают необычными свойствами, которые могут лечь в основу революционных технологий будущего — от сверхпроводников без потерь до энергонезависимых систем хранения информации. Однако такие состояния крайне нестабильны и исчезают за считанные пикосекунды. Именно это ограничивает их использование в реальных приложениях. Учёные из Гарвардского университета совместно с исследователями Института Пауля Шеррера PSI разработали метод, позволяющий продлить жизнь этих состояний на порядок — с нескольких триллионных долей секунды до наносекунд. Всё это стало возможным благодаря управлению электронами с помощью света и использованию уникальных возможностей рентгеновского лазера SwissFEL.

Объектом исследования стала так называемая «купратная лестница» — материал  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ , в котором атомы меди и кислорода организованы в цепочки и «лестницы», образуя почти одномерную кристаллическую структуру. В естественном состоянии электроны в этом материале распределяются неравномерно: в цепях наблюдается высокая плотность зарядов, в то время как лестницы остаются относительно пустыми. Эта симметрия, как правило, блокирует перемещение электронов между двумя подсистемами.

Исследователи применили точно сфокусированный **лазерный** импульс, чтобы нарушить эту симметрию. Свет, попадая в материал, открывал квантовый «туннель» между цепями и лестницами, через который электроны могли перемещаться. После прекращения лазерного воздействия туннель «закрывался», а система оставалась в новом, возбужденном состоянии, не возвращаясь мгновенно в исходное. Это метастабильное состояние сохранялось гораздо дольше, чем аналогичные ранее зарегистрированные возбуждённые состояния, давая исследователям возможность изучать его поведение.

Ключом к такому прорыву стал метод резонансного неупругого рассеяния рентгеновских лучей с временным разрешением (tr-RIXS), реализованный на новой экспериментальной станции Furka в комплексе SwissFEL. Сверхкороткие и яркие рентгеновские импульсы позволили «снять» движения электронов в реальном времени, открыв доступ к глубинной динамике магнитных, орбитальных и зарядовых возбуждений.

Подобные эксперименты не просто расширяют фундаментальные знания в

области квантовой физики, но и открывают возможности для разработки новых классов устройств. Устойчивые и контролируемые квантовые состояния могут использоваться для создания сверхбыстрых оптоэлектронных компонентов, в которых сигнал преобразуется из света в электричество и обратно с минимальными потерями энергии. Такие технологии необходимы для квантовой связи, фотонных компьютеров и нового поколения энергоэффективных вычислительных систем.

Более того, возможность управлять квантовыми состояниями без изменения структуры самого материала означает, что будущие устройства смогут быть не только быстрыми, но и стабильными, долговечными и легко масштабируемыми. Этот подход также открывает перспективы для энергонезависимого хранения информации, где данные фиксируются в электронных конфигурациях, сохраняемых даже при отключении питания.

Исследование стало первым в серии запланированных экспериментов на платформе Furka и уже привело к модернизации установки. Улучшенное энергетическое разрешение и новые методы зондирования позволят в будущем исследовать ещё более сложные коллективные возбуждения, включая взаимодействия между электронами и колебаниями решётки.

Таким образом, свет становится не просто инструментом наблюдения за квантовыми системами, но и полноценным средством управления их состоянием. Это ставит физику конденсированного состояния на порог технологической революции, где понимание и контроль за мимолётными квантовыми явлениями может стать основой для целого класса новых устройств и вычислительных архитектур.

**Ссылка:** «Симметрично-защищенная электронная метастабильность в оптически управляемой купратной лестнице» DOI: [10.1038/s41563-025-02254-2](https://doi.org/10.1038/s41563-025-02254-2).