

Геометрическое скручивание раскрывает новую топологию в системах свет-материя



Дата публикации: 30.12.2025

Топологические свойства физических систем, остающиеся неизменными при деформациях вроде растяжения или изгиба, давно привлекают внимание физиков благодаря способности порождать устойчивые и нетривиальные эффекты. В последние годы особый интерес вызывает топология неэрмитовых систем — открытых сред, в которых происходит обмен энергией с окружающей средой, что приводит к усилению, потерям и нересципрокному переносу возбуждений.

В новом исследовании, выполненном учёными из Nanyang Technological University и Australian National University, показано, что необычные неэрмитовые топологические явления можно реализовать в системах свет-материя с помощью простого геометрического приёма. Работа опубликована в журнале Nature Physics и посвящена экситон-поляритонам — гибридным квазичастицам, возникающим при сильном взаимодействии фотонов с экситонами в твёрдом теле.

Экситон-поляритоны сочетают в себе свойства света и материи, что делает их удобной платформой для изучения неравновесной физики. Они могут усиливать или поглощать излучение, терять энергию, а также обладают управляемыми характеристиками, такими как спин и поляризация. Однако точное проектирование неэрмитовой топологии в таких системах долгое время оставалось сложной задачей, поскольку требовало либо магнитных полей, либо громоздких внешних элементов.

В данной работе исследователи предложили иной подход. Они создали компактный оптический резонатор, внутри которого разместили кристалл перовскита и слой жидких кристаллов, обеспечивающих сильную связь со светом. Ключевым элементом эксперимента стало контролируемое геометрическое скручивание между этими слоями, которое изменяло симметрию и спектральные свойства системы.

Для анализа возникающих эффектов использовались методы спектроскопии фотолюминесценции с угловым и поляризационным разрешением, а также измерения ширины спектральных линий. Это позволило восстановить дисперсионные соотношения поляритонов, определить различия в усилении и затухании для состояний с противоположным импульсом и выявить асимметрию, связанную со спин-зависимым переносом. Совмещение этих данных дало возможность реконструировать сложную энергетическую структуру системы и обнаружить новую форму неэрмитовой топологии, индуцированную скручиванием.

Эксперименты показали, что при равномерном возбуждении поляритоны не распределяются по системе однородно, а накапливаются вблизи одного края структуры. Это является характерным признаком неэрмитового скин-эффекта, при котором собственные состояния «стягиваются» к границе системы. При изменении направления скручивания эффект обращался, и накопление происходило у противоположного края, что подтвердило геометрическую природу наблюдаемого явления.

Таким образом, было показано, что угол скручивания может служить эффективным и обратимым регулятором неэрмитовой топологии, позволяя управлять нерезиципрокным транспортом и топологическими свойствами системы без изменения её состава. Это открывает новые возможности для фундаментальных исследований, поскольку предоставляет экспериментальный доступ к ранее труднодостижимым режимам неэрмитовой физики.

Результаты также имеют прикладное значение. Топология, управляемая скручиванием, может быть использована при разработке компактных фотонных устройств, включая нерезиципрокные элементы, поляритонные лазеры и

оптические логические схемы, интегрируемые на чипе. В дальнейшем исследователи планируют изучать взаимодействие спин-зависимых неэрмитовых эффектов с сильной нелинейностью экситон-поляритонов, что может привести к появлению новых неравновесных квантовых состояний и нетрадиционных форм бозе-эйнштейновской конденсации.

В целом работа демонстрирует, что даже простой геометрический параметр способен радикально изменить физику системы свет-материя, расширяя границы топологической фотоники и приближая создание новых классов функциональных квантовых и оптических технологий.

Ссылка: «Неэрмитова топология экситон-поляритонов, индуцированная скручиванием» DOI: [10.1038/s41567-025-03115-0](https://doi.org/10.1038/s41567-025-03115-0).