

Светофор для света: как магноники позволяют замедлять фотоны в одном направлении и ускорять в другом

Дата публикации: 09.06.2025

В мире, где свет обычно рассматривается как один из самых универсальных и предсказуемых носителей информации, новое исследование под руководством группы из Университета Манитобы и Университета Ланьчжоу нарушает этот стереотип. Ученым удалось создать устройство, которое может избирательно управлять скоростью распространения света в зависимости от его направления. Это достижение стало возможным благодаря интеграции фотонных и магنونных резонансов — технологий, объединённых в единую систему магноники с диссипативной связью.

Классические методы замедления света — например, электромагнитно-индуцированная прозрачность — дают лишь взаимное управление: скорость распространения импульса одинакова вне зависимости от направления. Однако для современных фотонных и квантовых систем этого недостаточно. Реальные условия требуют асимметричных решений — например, чтобы световой импульс в одном направлении проходил быстро, а в другом намеренно задерживался. Эта концепция особенно важна для разработки оптических изоляторов, циркуляторов и других направленных компонентов связи, где контроль потока данных критичен.

Команда исследователей реализовала это с помощью магنونик-резонатора, где микроволновые фотоны взаимодействуют с магнонами — квазичастицами, представляющими собой коллективные колебания спинов в магнетиках. В качестве магنونной среды использовалась сфера из железо-иттриевого граната (YIG), известного своими уникальными магнитными свойствами. Фотонная мода возбуждалась в диэлектрическом резонаторе, и связь между двумя подсистемами обеспечивалась через микрополосковую структуру. Ключевой особенностью конструкции стало использование направленной диссипативной связи, что позволило создать невзаимное распространение сигналов.

Эксперименты показали, что микроволновый импульс, проходящий в одну сторону, испытывает замедление (фазовую задержку), тогда как тот же импульс в противоположном направлении ускоряется. Этот эффект был достигнут без потерь в амплитуде, что особенно важно для приложений, связанных с точной передачей данных. Более того, использование магнитного поля для настройки направленности взаимодействия открывает возможности для динамического управления системой в реальном времени.

Это открытие нарушает классические представления, подкреплённые соотношением Крамерса-Кронига, которое, как считалось, не допускает фазовой асимметрии при одинаковой амплитуде передачи. Однако реальный эксперимент показал, что в гибридных системах с магнитной хиральностью возможно обойти это ограничение. Это создает прецедент для новой категории устройств — адаптивных направленных фотонных схем с управляемой фазовой задержкой, пригодных как для классических, так и для квантовых применений.

Потенциальные области применения новой технологии включают создание энергоэффективных нейроморфных вычислительных схем, фотонных логических элементов, микроволновых изоляторов для квантовых процессоров и управляемых маршрутизаторов сигналов в оптоволоконных сетях. В отличие от традиционных подходов, основанных на статической геометрии или громоздких ферритовых компонентах, магноника предоставляет динамическую и миниатюризруемую платформу с высокой гибкостью.

В будущем исследователи планируют усилить достигнутый эффект, комбинируя несколько магнонных элементов и используя усовершенствованные материалы с большей спиновой чувствительностью. Их цель — превратить концептуальную установку в интегрированный модуль, который сможет функционировать в коммерческих фотонных и микроволновых устройствах. Это станет важным шагом в создании новой физики управляемого света, где его скорость, направление и форма будут задаваться не только законами природы, но и архитектурой самой технологии.

Ссылка: «Невзаимное управление скоростью света с использованием резонаторной магоники, Physical Review Letters (2025)» DOI: [10.1103/PhysRevLett.134.196904](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.196904).