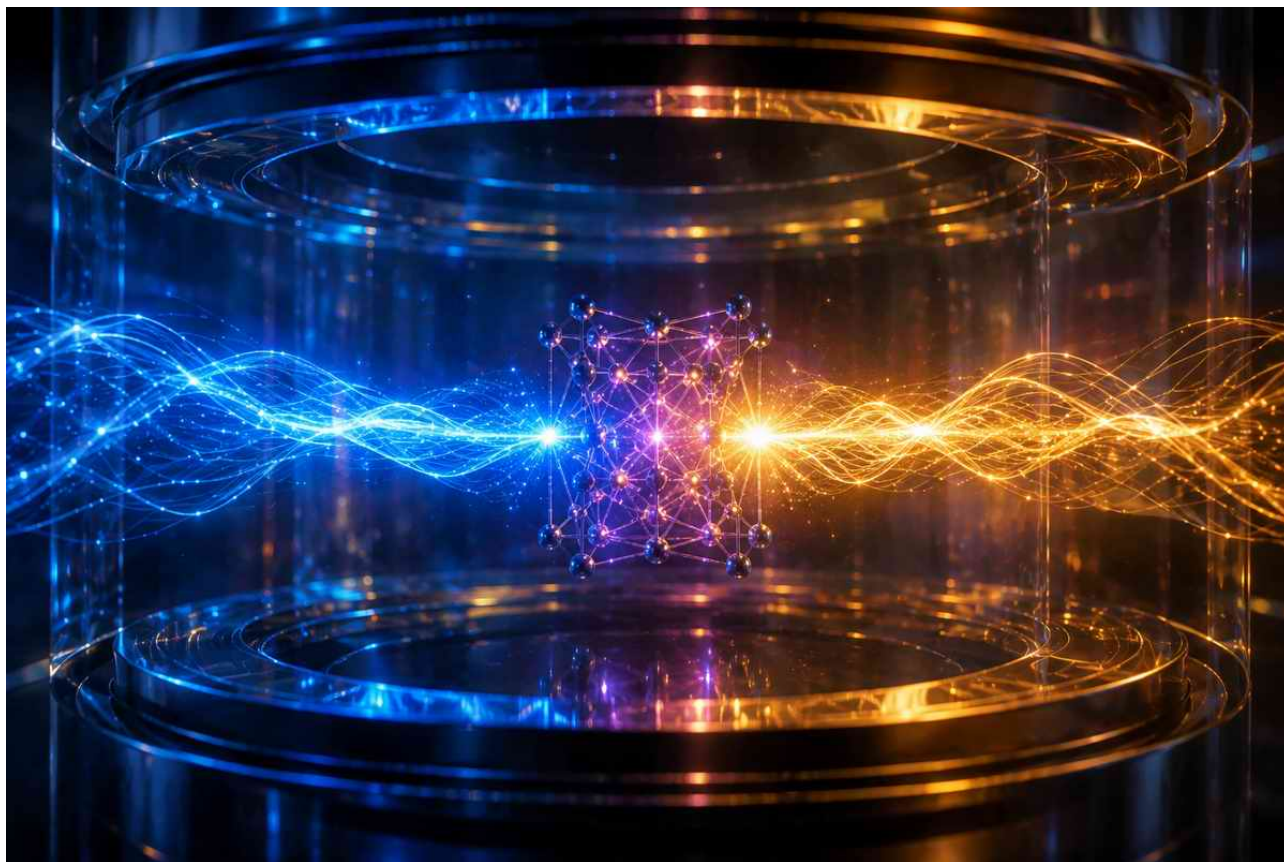


Физики нашли способ значительно усилить квантовую запутанность света и материи



Дата публикации: 02.06.2026

Квантовая запутанность считается одним из самых загадочных и одновременно самых перспективных явлений современной физики. Она возникает, когда две или более частицы оказываются связаны таким образом, что изменение состояния одной из них мгновенно отражается на другой независимо от расстояния между ними. Именно это необычное свойство лежит в основе многих перспективных квантовых технологий, включая квантовые компьютеры, сверхточные датчики и защищенные системы связи.

До сих пор большинство исследований квантовой запутанности было сосредоточено на сравнительно небольших системах, состоящих из ограниченного числа частиц. Однако одной из главных целей современной физики остается перенос этих эффектов в макроскопический мир, где речь идет уже о взаимодействии огромного количества квантовых объектов одновременно. Новое исследование американских физиков предлагает неожиданный путь решения этой сложной задачи.

Ученые разработали теоретическую модель, согласно которой квантовая запутанность между светом и веществом может возникать значительно легче, если материал находится вблизи так называемой квантовой критической точки. Это особое состояние вещества давно привлекает внимание исследователей благодаря своим необычным свойствам и способности усиливать квантовые эффекты.

Квантовую критическую точку можно представить как своеобразную границу между двумя различными квантовыми фазами материи. Подобно тому как вода может переходить из жидкого состояния в лед или пар, некоторые квантовые материалы способны переключаться между различными внутренними состояниями. Вблизи точки такого перехода поведение частиц становится особенно чувствительным к внешним воздействиям.

Именно эта повышенная чувствительность оказалась ключом к решению проблемы взаимодействия света и материи. В традиционных моделях для формирования устойчивого квантового гибрида между фотонами и веществом требовалось чрезвычайно сильное взаимодействие, которое сложно реализовать на практике. Новый подход показывает, что при приближении материала к квантической критической точке необходимый порог взаимодействия резко снижается.

Суть идеи заключается в использовании специальной зеркальной полости, или резонатора. Внутри такой структуры фотоны многократно отражаются между зеркалами и могут эффективно взаимодействовать с квантовым материалом. Если материал предварительно привести в состояние, близкое к квантовой критической точке, вероятность образования запутанного состояния между светом и веществом значительно возрастает.

Особенно важно, что для достижения такого эффекта не требуется нагревать или охлаждать систему экстремальным образом. Вместо этого используются так называемые нетепловые методы управления материалом. Среди них — изменение давления, магнитных полей или химического состава вещества. Эти методы позволяют плавно приближать систему к критическому состоянию и контролировать ее квантовые свойства.

С точки зрения фундаментальной физики открытие представляет большой интерес, поскольку позволяет глубже понять природу квантовой запутанности в сложных системах. До настоящего времени ученым было непросто наблюдать и исследовать коллективные квантовые эффекты в материалах, содержащих огромное количество взаимодействующих частиц.

Когда свет и материя становятся квантово запутанными, между ними

возникает особая связь. В таком состоянии свойства фотонов начинают отражать изменения, происходящие внутри материала. Если вещество переходит из одной квантовой фазы в другую, аналогичные изменения могут наблюдаться и в состоянии света. Это делает фотоны удобным инструментом для изучения процессов, которые ранее было крайне трудно исследовать напрямую.

Фактически свет начинает выполнять роль своеобразного квантового посредника, позволяющего наблюдать за поведением сложных квантовых материалов. Такой подход может существенно расширить возможности экспериментальной физики конденсированного состояния и открыть новые методы исследования экзотических квантовых фаз.

Практическая значимость работы может оказаться не менее важной, чем ее фундаментальная ценность. Одной из главных проблем квантовых технологий остается извлечение и использование квантовой запутанности в реальных устройствах. Даже если запутанные состояния возникают внутри материала, воспользоваться ими зачастую крайне сложно.

Новая теория предлагает возможный механизм решения этой проблемы. Если фотоны оказываются запутанными с веществом, свет можно вывести из резонатора и использовать как носитель информации о квантовом состоянии материала. Таким образом становится возможным перенос квантовых ресурсов из труднодоступной среды в более удобную для измерений и обработки форму.

Особый интерес вызывает применение подобных систем в квантовом зондировании. Квантовые сенсоры нового поколения способны обнаруживать чрезвычайно слабые изменения магнитных полей, температуры, давления и других физических параметров. Использование усиленной запутанности между светом и материей может значительно повысить чувствительность таких устройств.

Кроме того, результаты исследования могут оказаться важными для разработки будущих квантовых компьютеров. Управляемая запутанность между различными типами квантовых объектов рассматривается как один из ключевых элементов построения масштабируемых вычислительных систем нового поколения.

Исследование также связано с работами по изучению так называемых странных металлов — особого класса квантовых материалов, свойства которых до сих пор остаются предметом активных дискуссий среди физиков. Ранее было показано, что вблизи квантовых критических состояний уровень квантовой запутанности в таких материалах существенно возрастает. Теперь появляется возможность не только наблюдать этот эффект, но и использовать его на

практике.

Хотя предложенная концепция пока остается теоретической, она открывает новое направление исследований на стыке квантовой физики, фотоники и материаловедения. Если результаты будут подтверждены экспериментально, ученые получат мощный инструмент для управления квантовыми состояниями в сложных системах.

Фактически речь идет о создании нового способа соединения двух важнейших компонентов квантового мира — света и материи. Подобные гибридные системы могут стать основой будущих технологий, которые сегодня кажутся столь же фантастическими, как когда-то казались сами идеи квантовой запутанности.

Ссылка: «Усиленный отклик квантово-критических систем, связанных резонатором» DOI: [10.1038/s41467-026-73112-1](https://doi.org/10.1038/s41467-026-73112-1).