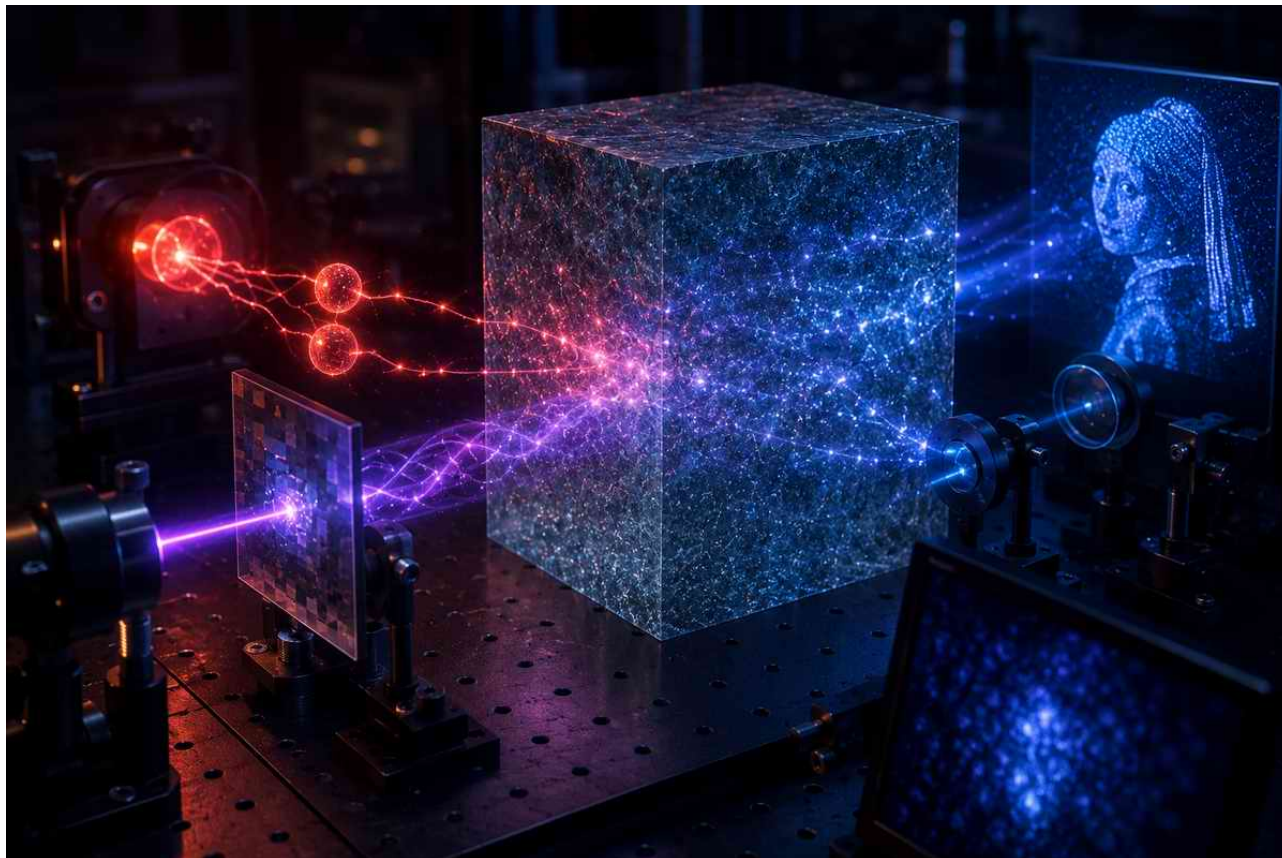


Квантовая оптика против хаоса: ученые научились скрывать информацию от классического света



Дата публикации: 21.05.2026

Физики из Франции и Великобритании представили новую квантовую технологию, способную кардинально изменить подход к передаче информации через сложные и хаотичные среды. Исследователи из Института нанонаук в Париже, лаборатории Каствера-Броссея и Университета Глазго разработали метод, который делает непрозрачную рассеивающую среду «прозрачной» исключительно для квантовой информации, передаваемой запутанными фотонами. При этом для обычного классического света та же среда продолжает оставаться полностью непрозрачной.

Работа уже вызвала большой интерес в научном сообществе, поскольку демонстрирует принципиально новый способ взаимодействия света с хаотичными системами. Результаты исследований были опубликованы в журналах *Optica* и *Nature Physics*, где авторы подробно описали технологию оптимизации и механизм селективной передачи изображений через оптический беспорядок.

Передача изображений и пространственной информации через сложные среды остается одной из самых трудных задач современной оптики. Проблема возникает в тех случаях, когда свет проходит через неоднородные материалы: биологические ткани, атмосферную турбулентность, дым, туман или многомодовые оптические волокна. В подобных условиях свет начинает многократно рассеиваться, а исходная информация практически полностью теряется.

На протяжении последних лет ученые пытались бороться с этим эффектом с помощью технологий формирования волнового фронта. Такие методы используют пространственные модуляторы света — специальные устройства, способные управлять фазой световых волн. Благодаря этому исследователи могут частично компенсировать хаотическое рассеяние и повторно фокусировать свет после прохождения через сложную среду.

Однако все существующие методы имели важное ограничение: они работали одинаково как для классического, так и для квантового света. Иными словами, квантовые свойства фотонов практически не использовались для решения задачи передачи информации. Новое исследование впервые продемонстрировало, что именно квантовая природа света может стать главным инструментом преодоления оптического хаоса.

Ключевым элементом технологии стали запутанные пары фотонов. Квантовая запутанность — одно из самых необычных явлений современной физики, при котором две частицы сохраняют тесную взаимосвязь независимо от расстояния между ними. Изменение состояния одной частицы мгновенно влияет на состояние другой. Именно это свойство ученые использовали в качестве своеобразного «квантового ключа» для прохождения через хаотичную среду.

Исследователи создали систему, в которой пространственный модулятор света оптимизирует фазовую маску таким образом, чтобы сохранить пространственные корреляции между запутанными фотонами даже после их прохождения через рассеивающую среду. В результате информация, переносимая квантовыми частицами, остается читаемой, тогда как обычный свет полностью теряет структуру изображения.

Особенность подхода заключается в использовании фундаментального свойства квантовой механики — способности запутанных фотонов сохранять корреляции сразу в нескольких оптических базисах одновременно. В данном случае речь идет о базисе исходного изображения и специфическом базисе самой хаотичной среды. Благодаря этому система фактически «понимает», как пройти через беспорядок, не разрушив информацию.

Для классического света подобный механизм невозможен. После прохождения через ту же среду обычные фотоны теряют пространственные связи, и изображение превращается в хаотичный шум. Таким образом, одна и та же среда начинает вести себя по-разному в зависимости от того, несет ли свет квантовую запутанность или нет.

По сути, ученые превратили хаотичную рассеивающую среду в своеобразный селективный фильтр, который способен различать классическую и квантовую информацию на физическом уровне. Это открывает совершенно новые перспективы для защищенной передачи данных и квантовых коммуникаций.

Особенно перспективным направление выглядит для будущих систем квантовой связи. Поскольку только запутанные фотоны способны корректно проходить через подобную среду, сама физическая структура может использоваться как дополнительный уровень защиты информации. Любая попытка перехвата или копирования сигнала приведет к разрушению квантовых корреляций и потере данных.

Исследование также может оказать огромное влияние на медицинскую визуализацию и биофизику. Одной из главных проблем современной оптической диагностики является рассеяние света внутри биологических тканей. Из-за этого получение четких изображений внутренних структур организма требует сложных вычислительных алгоритмов и дорогостоящего оборудования. Новый квантовый подход потенциально позволит получать изображения через мутные или неоднородные ткани значительно проще и точнее.

Кроме того, разработанная технология неожиданно оказалась связана с фундаментальными задачами вычислительной физики и теории оптимизации. Процесс настройки системы напоминает поиск минимальной энергии в сложных многоспиновых физических моделях, используемых в статистической механике и квантовых вычислениях. Это означает, что подобные квантовые методы могут в будущем применяться не только в оптике, но и для решения крайне сложных вычислительных задач.

Современная квантовая оптика постепенно выходит за рамки лабораторных экспериментов и начинает формировать основу технологий будущего. Еще несколько лет назад квантовая запутанность воспринималась преимущественно как абстрактное явление фундаментальной физики, однако сегодня она становится практическим инструментом передачи информации, защиты данных и создания новых вычислительных систем.

Новое исследование показывает, что хаос и беспорядок вовсе не обязательно должны быть препятствием для передачи информации. Напротив, при

правильном использовании квантовых свойств света даже самые сложные и непрозрачные среды могут превратиться в управляемые элементы будущих квантовых технологий.

Ссылка: «Неклассическая оптимизация запутанных фотонов в сложных средах» DOI: [10.1364/optica.583959](https://doi.org/10.1364/optica.583959).