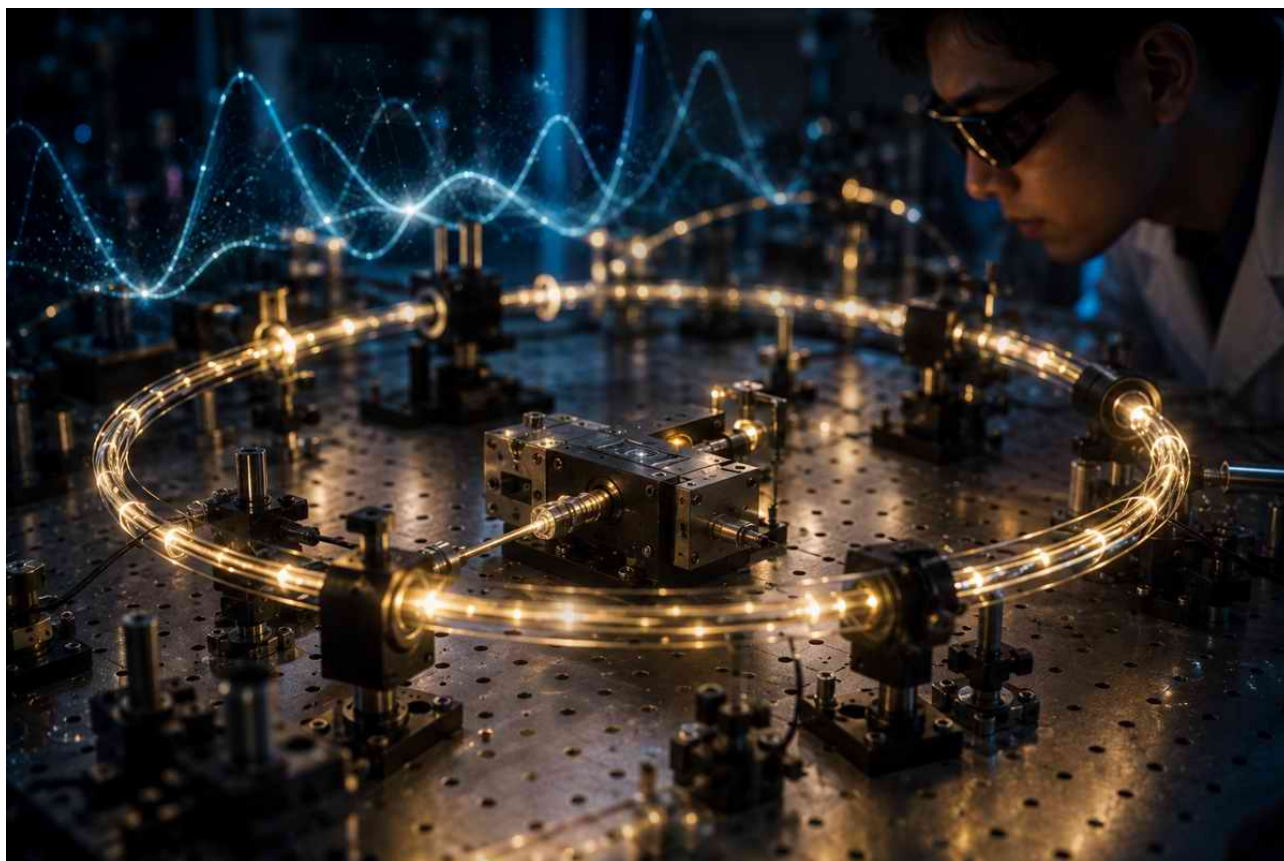


Ученые впервые воспроизвели одну из самых сложных теорий физики с помощью света на обычной лабораторной установке



Дата публикации: 30.07.2026

Большинство законов физики подчиняются простому принципу: если поменять порядок действий, конечный результат останется прежним. Однако в мире элементарных частиц существует совершенно иной класс явлений, где последовательность событий играет решающую роль. Именно на этом принципе построены неабелевы калибровочные теории — один из важнейших разделов современной физики, лежащий в основе Стандартной модели, описывающей устройство Вселенной.

До недавнего времени изучение подобных эффектов требовало использования гигантских ускорителей частиц стоимостью в миллиарды долларов. Теперь исследователи из Гонконгского университета продемонстрировали, что многие свойства этих сложнейших теорий можно исследовать с помощью компактной фотонной установки, размещающейся на обычном лабораторном столе. Результаты работы опубликованы в журнале *Physical Review Letters*.

Чтобы понять значимость открытия, стоит разобраться, что представляют собой неабелевы калибровочные поля. Именно они описывают сильное и слабое ядерные взаимодействия — фундаментальные силы природы, отвечающие за существование атомных ядер, радиоактивный распад и множество процессов, происходящих во Вселенной с первых мгновений после Большого взрыва.

Главная особенность этих теорий заключается в том, что порядок преобразований имеет значение. Если в обычной математике действие А, выполненное перед действием Б, зачастую приводит к тому же результату, что и Б перед А, то в неабелевой физике итог может оказаться совершенно другим. Именно эта особенность делает расчеты исключительно сложными и одновременно чрезвычайно важными для современной фундаментальной науки.

Такие модели используются не только в физике элементарных частиц. Они помогают изучать свойства экзотических материалов, процессы внутри нейтронных звезд, раннюю эволюцию Вселенной и даже некоторые направления исследований квантовой гравитации. Однако экспериментально проверять многие предсказания подобных теорий крайне трудно из-за необходимости создавать экстремальные энергии.

Авторы нового исследования предложили совершенно иной подход. Вместо столкновения элементарных частиц они решили использовать свет. Основой эксперимента стал кольцевой волоконно-оптический резонатор — специальная замкнутая система, внутри которой фотоны многократно циркулируют по оптическому волокну.

Ключевую роль играет электрооптический модулятор, который способен очень точно изменять свойства света и переключать фотоны между близкими частотами. Благодаря этому исследователи сформировали искусственную структуру, параметры которой можно гибко изменять с помощью электрических сигналов без изготовления новых элементов установки.

Особенно важно, что ученым удалось создать синтетическое поле, которое по своим математическим свойствам ведет себя так же, как настоящие неабелевы калибровочные поля. Иначе говоря, свет стал своеобразным «симулятором» процессов, которые обычно происходят лишь при взаимодействии элементарных частиц на колоссальных энергиях.

Во время экспериментов физики наблюдали необычное поведение световых импульсов. Они зафиксировали характерные колебания, напоминающие так называемое дрожательное движение, или *Zitterbewegung*. Этот эффект был предсказан еще в первой половине XX века при анализе знаменитого уравнения Поля Дирака, описывающего поведение релятивистских электронов.

В новой работе аналогичное явление удалось воспроизвести уже для фотонов. Световые импульсы демонстрировали характерные колебания без какого-либо дополнительного внешнего воздействия. По мнению авторов исследования, именно это стало прямым свидетельством того, что искусственно созданная система действительно воспроизводит свойства неабелевых полей.

Затем исследователи слегка изменили параметры установки, добавив дополнительное поле другого типа — абелево, аналогичное тому, которое используется при описании электромагнитных взаимодействий. В результате возникла сложная картина взаимодействия двух различных физических режимов, позволившая впервые наблюдать их совместную динамику в одной компактной экспериментальной системе.

Подобные эксперименты важны не только для проверки фундаментальных физических теорий. Программируемые фотонные платформы открывают новые возможности для создания устройств обработки оптических сигналов, разработки квантовых симуляторов и исследования перспективных архитектур будущих квантовых компьютеров.

Еще одно преимущество новой технологии заключается в ее гибкости. Если параметры ускорителей частиц определяются сложной инженерной инфраструктурой, то здесь многие характеристики можно изменять практически в реальном времени, просто перенастраивая электронное управление. Это значительно ускоряет проведение экспериментов и делает исследования гораздо доступнее.

Авторы работы считают, что их разработка может стать удобным инструментом для изучения явлений, которые до сих пор оставались практически недоступными для лабораторных исследований. В дальнейшем они планируют усовершенствовать систему с использованием методов когерентного детектирования, что позволит моделировать еще более сложные процессы и проверять гипотезы, выходящие за рамки современной Стандартной модели.

Фактически исследователи сделали важный шаг к новой области науки, в которой вместо дорогостоящих ускорителей часть фундаментальных физических процессов можно будет изучать с помощью управляемых фотонных систем. Если технология продолжит развиваться, она может значительно ускорить исследования в области квантовой физики, материаловедения и фундаментальных взаимодействий, приблизив ученых к пониманию тех законов природы, которые до сих пор оставались скрыты за пределами экспериментальных возможностей.

Ссылка: «Неабелева электрическая сила и цитербеvegунг на фотонной частотной цепочке» DOI: [10.1103/gy4y-171h](https://doi.org/10.1103/gy4y-171h).