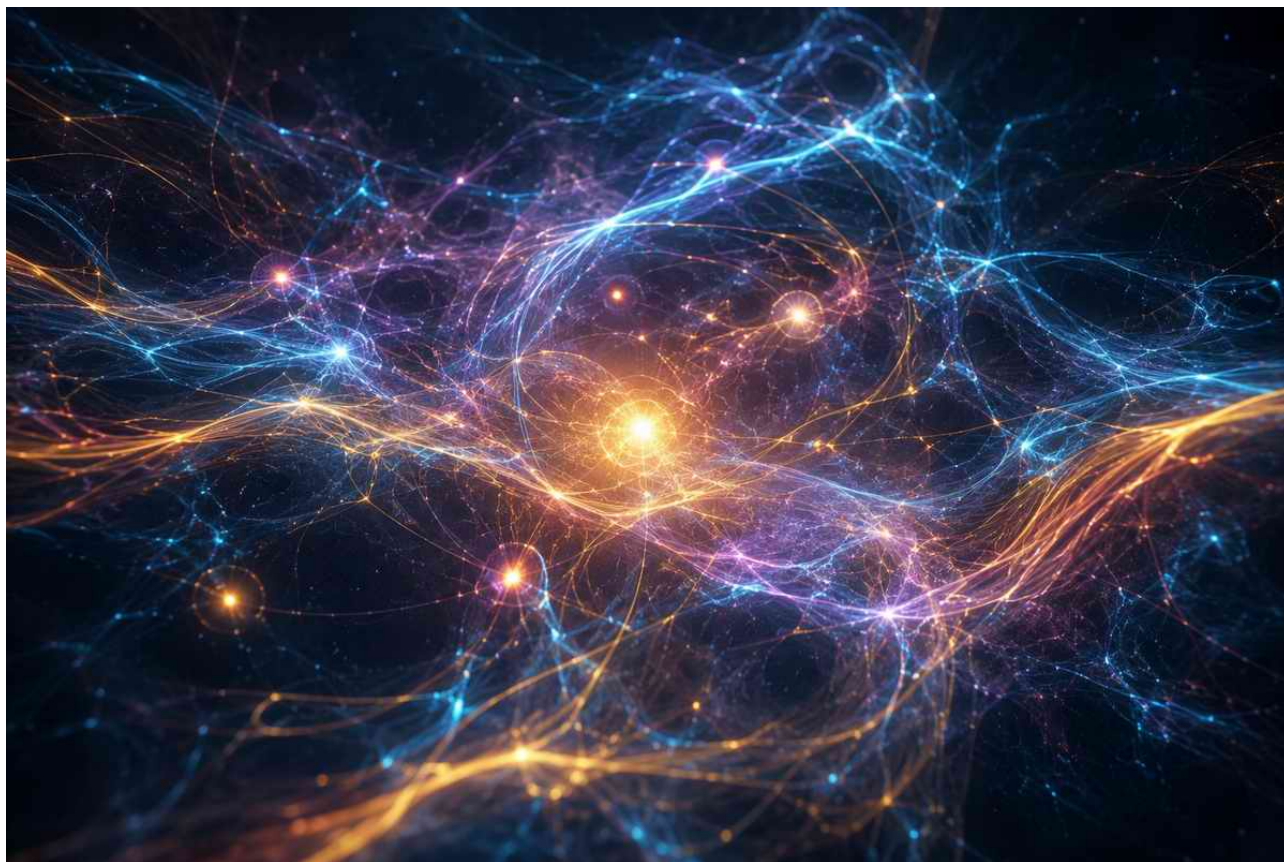


Физики показали, что теория струн может возникать почти из ничего



Дата публикации: 14.05.2026

Теория струн десятилетиями остаётся одной из самых загадочных и спорных идей современной физики. Она обещает объединить квантовую механику и гравитацию в единую систему законов природы, однако до сих пор не получила экспериментального подтверждения. Теперь международная группа исследователей сделала шаг, который многие физики уже называют крайне важным для всей фундаментальной науки: учёные показали, что ключевые элементы теории струн могут автоматически возникать всего из нескольких базовых математических предположений о поведении Вселенной.

Работа, принятая к публикации в журнале *Physical Review Letters*, была выполнена исследователями из Калифорнийского технологического института, Нью-Йоркского университета и Института физики высоких энергий в Барселоне. Учёные использовали так называемый бутстреп-подход — метод, при котором физики не начинают с готовой теории, а пытаются вывести законы природы из минимального набора фундаментальных принципов.

Результат оказался неожиданным даже для самих авторов исследования. Они не закладывали существование струн в исходные уравнения, однако математический анализ всё равно привёл к структурам, практически идентичным тем, что лежат в основе теории струн.

Теория струн появилась ещё в 1960-х годах как попытка объяснить сложные закономерности, наблюдаемые в столкновениях элементарных частиц. Со временем она превратилась в одну из главных кандидатур на роль «теории всего» — модели, способной объединить все фундаментальные силы природы. Согласно этой концепции, элементарные частицы на самом деле не являются точечными объектами. Вместо этого они представляют собой крошечные вибрирующие струны, размеры которых настолько малы, что их невозможно увидеть даже с помощью самых мощных современных ускорителей.

Различные типы вибраций этих струн соответствуют разным частицам. Один режим колебаний может порождать фотон, другой — кварк, третий — гипотетический гравитон, который должен переносить силу гравитации. Именно возможность естественным образом включить гравитацию в квантовую картину мира сделала теорию струн чрезвычайно привлекательной для физиков.

Главная проблема заключается в том, что проверить её напрямую почти невозможно. Масштабы энергии, на которых должны проявляться струны, настолько огромны, что для экспериментов потребовался бы ускоритель частиц размером с галактику. Поэтому многие исследования в этой области опираются не на эксперименты, а на математическую согласованность.

Современная физика сталкивается с серьёзной трудностью при попытке объединить квантовую механику и общую теорию относительности Эйнштейна. Когда исследователи рассчитывают взаимодействия частиц при экстремально высоких энергиях, уравнения начинают выдавать бесконечности, которые делают результаты бессмысленными. Особенно остро эта проблема проявляется в описании квантовой гравитации.

Теория струн известна тем, что способна устранять подобные математические катастрофы. В рамках этой модели взаимодействия частиц становятся более «мягкими» при сверхвысоких энергиях. Струны словно размыывают столкновения, предотвращая появление разрушительных бесконечностей.

Именно это свойство стало одним из ключевых исходных предположений нового исследования. Учёные предположили, что при очень высоких энергиях вероятность жёсткого рассеяния частиц должна резко уменьшаться. Такое поведение называется ультрамягкостью.

Вторым важным предположением стала идея так называемых минимальных нулей — специальных точек, в которых вероятность некоторых взаимодействий должна исчезать. Хотя сама концепция выглядит чрезвычайно абстрактной, она играет критическую роль в обеспечении математической согласованности всей системы.

Исходя только из этих двух принципов, физики начали анализировать амплитуды рассеяния — математические объекты, описывающие вероятности различных исходов столкновений частиц. Именно амплитуды рассеяния считаются одним из центральных инструментов современной теоретической физики.

Результат оказался поразительным. Единственные математические решения, удовлетворяющие всем условиям, автоматически воспроизводили характерные признаки теории струн. Среди них — знаменитая бесконечная башня частиц с возрастающими массами и спинами.

Эта структура впервые была обнаружена ещё в конце 1960-х годов физиком Габриэле Венециано в CERN. Тогда учёные наблюдали огромное количество частиц, возникающих в ускорителях, и пытались найти математическую закономерность в их свойствах. Венециано обнаружил удивительную функцию, описывающую целую лестницу частиц с определёнными закономерностями масс и вращения.

Позже физики поняли, что такая структура очень напоминает гармоника музыкальной струны. Если дёрнуть струну скрипки, она создаёт не только основную ноту, но и целый набор обертонов. Аналогичным образом теория струн предсказывает существование множества «гармонических» состояний элементарных частиц.

Новое исследование показало, что подобная башня состояний возникает практически неизбежно, если Вселенная должна оставаться математически непротиворечивой при экстремальных энергиях.

Для многих теоретиков это особенно важно потому, что пространство возможных математических решений казалось практически бесконечным. Однако анализ неожиданно сузил выбор до структуры, очень похожей именно на теорию струн.

Бутстреп-подход, использованный исследователями, часто сравнивают с решением sudoku. Учёные задают минимальный набор правил, а затем ищут единственное допустимое решение. В данном случае физики начали почти «с пустого места», но всё равно получили признаки струнной теории.

Подобные исследования не доказывают, что теория струн окончательно верна. Однако они существенно усиливают её позиции как наиболее естественного математического описания квантовой гравитации. Кроме того, работа помогает понять, какие фундаментальные принципы лежат в основе устройства Вселенной.

Если будущие альтернативные теории захотят заменить теорию струн, им придётся объяснить, почему именно эти базовые предположения должны нарушаться. Это делает новое исследование важным не только для сторонников теории струн, но и для всех направлений фундаментальной физики.

Работа также показывает, насколько современная физика всё больше превращается в поиск глубинной математической неизбежности. Многие исследователи начинают подозревать, что законы природы могут быть не случайным набором формул, а единственной логически возможной структурой, способной существовать без внутренних противоречий.

На фоне этих идей теория струн вновь оказывается в центре внимания. Несмотря на десятилетия критики и отсутствие прямых экспериментальных подтверждений, она продолжает удивительным образом появляться в самых разных математических подходах. И теперь физики получили ещё одно свидетельство того, что струны могут быть не искусственной конструкцией учёных, а естественным следствием самых фундаментальных свойств реальности.

Ссылка: «Струны из почти ничего» DOI: [10.1103/cw4p-cqh7](https://doi.org/10.1103/cw4p-cqh7).