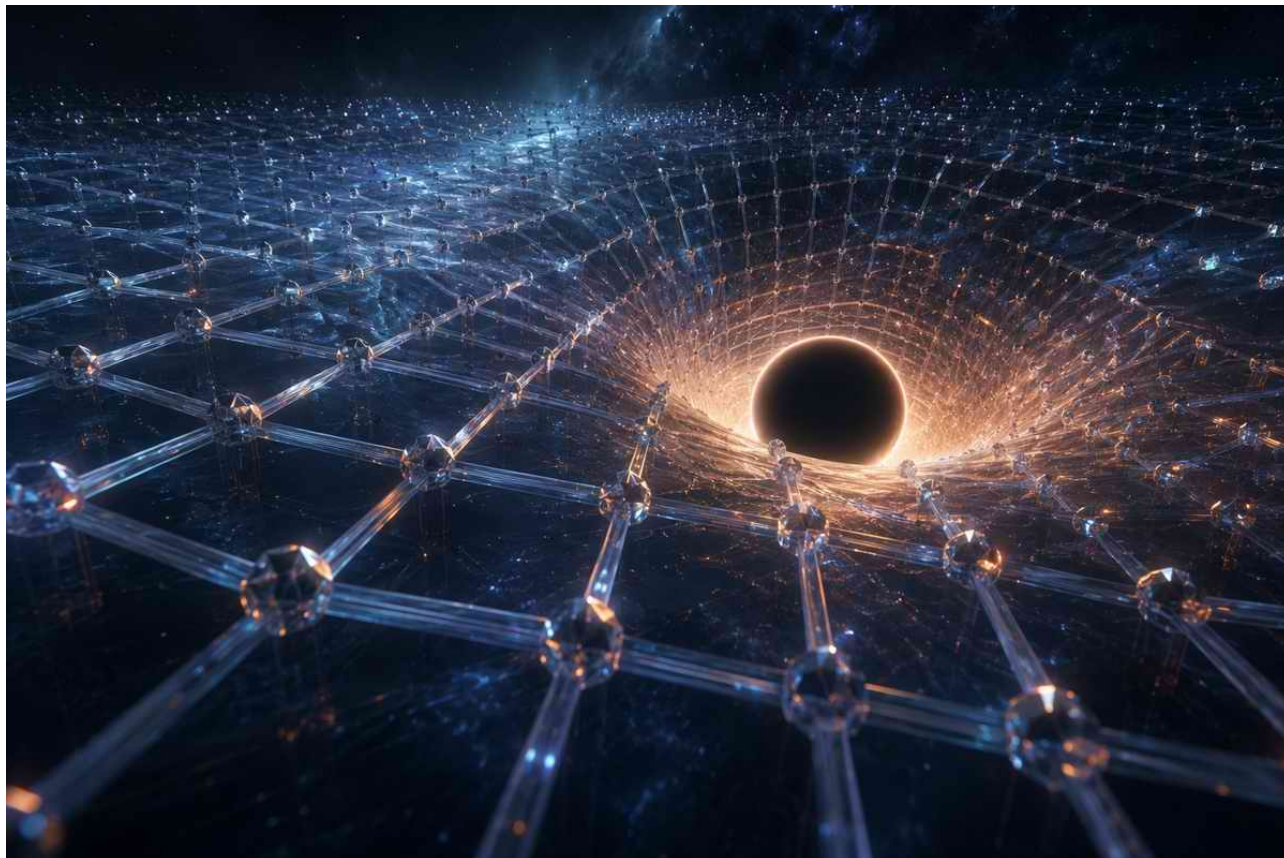


Кристаллы пространства-времени и рождение микрочёрных дыр: физики приблизились к разгадке критического коллапса



Дата публикации: 22.05.2026

Международная группа физиков из Венский технический университет и Франкфуртский университет имени Гёте представила математическое описание одного из самых необычных явлений современной теоретической физики — формирования так называемых кристаллов пространства-времени, которые при определённых условиях способны коллапсировать в микроскопические чёрные дыры. Работа опубликована в журнале *Physical Review Letters* и уже привлекла внимание научного сообщества благодаря необычному подходу к исследованию гравитации и структуры Вселенной.

Большинство людей представляют чёрные дыры как гигантские космические объекты, возникающие после гибели массивных звёзд. Однако современные физические теории допускают существование и крошечных чёрных дыр микроскопического размера. Такие объекты могут появляться в результате особых критических состояний пространства-времени, когда геометрия Вселенной начинает самоорганизовываться в упорядоченные структуры,

напоминающие кристаллическую решётку.

Исследователи называют этот процесс критическим коллапсом. Его суть заключается в том, что пространство-время при определённых условиях способно переходить в нестабильное промежуточное состояние. Внешне оно напоминает своеобразный «кристалл», в котором повторяющиеся структуры возникают не только в пространстве, но и во времени.

Подобные идеи долгое время существовали преимущественно в виде компьютерных моделей и гипотез. Ещё в начале 1990-х годов расчёты показывали, что микроскопические чёрные дыры могут спонтанно формироваться в результате подобных критических процессов. Однако вывести точную аналитическую формулу оказалось крайне сложно.

Теперь физикам впервые удалось математически описать этот механизм. Для этого исследователи использовали необычный теоретический приём, связанный с изучением пространства с бесконечным числом измерений. Хотя наша Вселенная имеет четыре измерения — три пространственных и одно временное — математические уравнения теории относительности можно записывать и для более сложных многомерных моделей.

Оказалось, что при переходе к бесконечному числу измерений некоторые чрезвычайно сложные уравнения неожиданно упрощаются. Это позволило учёным получить аналитическое решение, а затем применить результаты к нашей четырёхмерной Вселенной.

Исследование помогает лучше понять фундаментальные свойства пространства-времени и гравитации. Согласно общей теории относительности Альберт Эйнштейн, любое тело с массой искривляет пространство-время вокруг себя. Крупные объекты вроде звёзд и галактик делают это особенно заметно, однако даже элементарные частицы создают крошечные искажения.

При определённых критических условиях такие искривления могут начинать взаимодействовать друг с другом, формируя устойчивые геометрические паттерны. Учёные сравнивают этот процесс с замерзанием воды: хаотическое движение молекул внезапно превращается в упорядоченную структуру льда. Аналогичным образом хаотическая геометрия пространства-времени способна переходить в состояние своеобразного кристалла.

Особенно интересен тот факт, что подобное состояние крайне нестабильно. Если система теряет энергию, структура распадается, и пространство-время возвращается к обычному состоянию. Но если добавить даже минимальное количество энергии, начинается стремительный коллапс, приводящий к образованию чёрной дыры.

Подобные процессы могли играть важную роль в первые мгновения после Большого взрыва. Ранняя Вселенная представляла собой чрезвычайно плотную и хаотичную среду, где могли возникать многочисленные критические состояния. Некоторые физики предполагают, что именно тогда могли образоваться так называемые первичные чёрные дыры — гипотетические объекты, которые потенциально могут существовать до сих пор.

Интерес к микрочёрным дырам связан не только с космологией, но и с фундаментальной физикой. Изучение подобных объектов помогает исследовать связь между квантовой механикой и гравитацией — одной из главных нерешённых проблем современной науки.

Новая методика расчётов открывает возможности для анализа явлений, которые ранее практически не поддавались аналитическому описанию. Учёные считают, что подход с использованием многомерных моделей может применяться и для других задач теоретической физики: изучение горизонтов событий, динамики коллапса, квантовых эффектов вблизи чёрных дыр, поведения пространства-времени при экстремальных энергиях.

Исследование также подчёркивает, насколько тесно современные физические теории связаны с абстрактной математикой. Многие явления, которые невозможно наблюдать напрямую, сначала появляются в виде сложных математических структур и лишь затем получают физическую интерпретацию.

Сегодня физики всё чаще рассматривают пространство-время не как пассивную арену для движения материи, а как динамическую систему, способную к самоорганизации, фазовым переходам и формированию сложных структур. Открытие математического описания пространственно-временных кристаллов становится ещё одним шагом к более глубокому пониманию устройства Вселенной и природы гравитации.

Ссылка: «Аналитические дискретные самоподобные решения уравнения Эйнштейна-Клейна-Гордона при большом значении D » DOI: [10.1103/qgl5-5l3t](https://doi.org/10.1103/qgl5-5l3t).