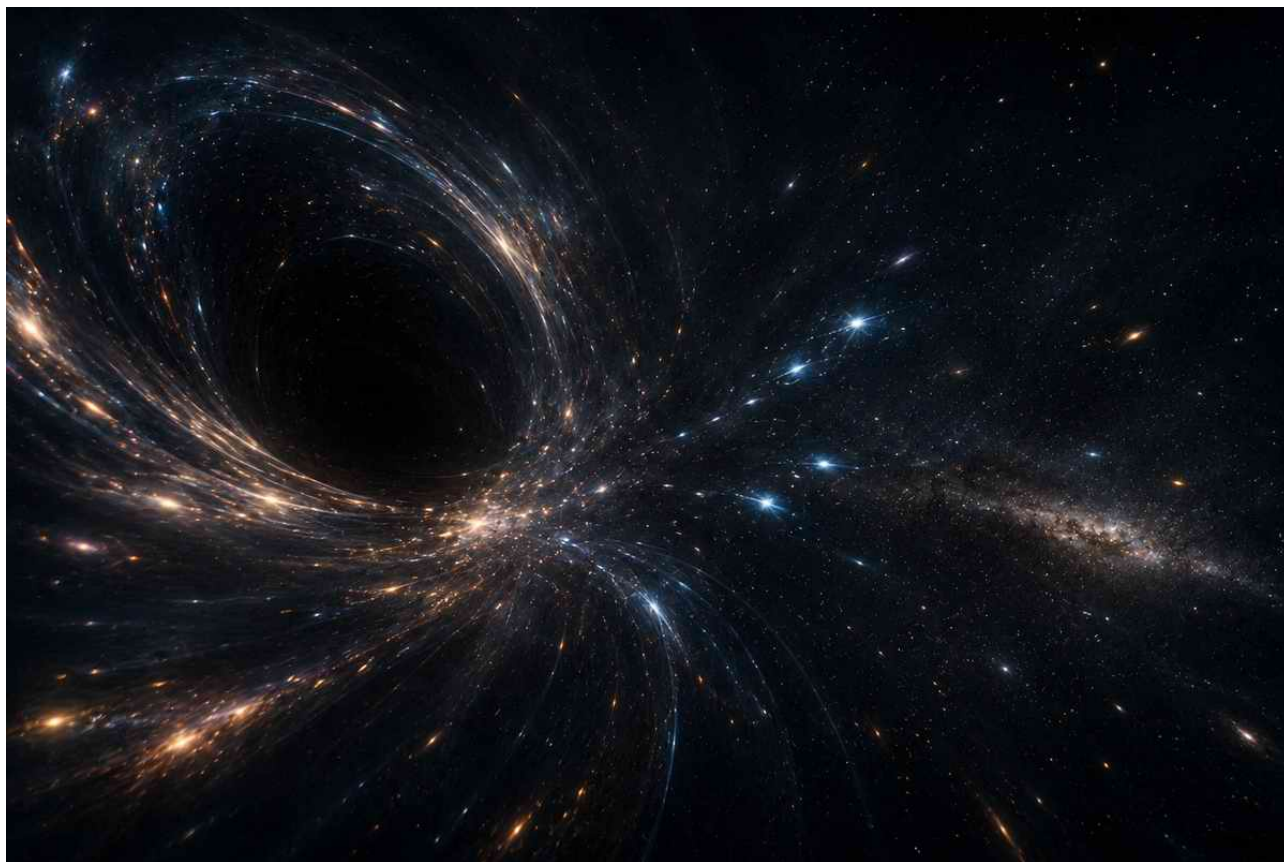


Гравитацию «выключили» — но после нее остались реальные частицы



Дата публикации: 02.09.2026

Представьте совершенно пустое пространство. Затем в нем на некоторое время возникает мощное гравитационное поле. Через некоторое время оно исчезает, и пространство снова становится таким же, каким было первоначально. Казалось бы, после этого ничего не должно измениться. Однако математическая модель показывает удивительный результат: гравитации уже нет, а реальные частицы остались.

На первый взгляд это напоминает фокус, но за ним стоит один из наиболее необычных принципов квантовой физики. Исследователи из Университета Радбоуда построили математически строгую модель, призванную показать, что образование частиц возможно благодаря изменяющемуся гравитационному полю даже без постоянного горизонта событий черной дыры.

Работа связана с проблемой, которая появилась более полувека назад благодаря Стивену Хокингу. В 1970-х годах он показал, что черные дыры не должны быть совершенно черными. Квантовые эффекты позволяют им испускать

излучение, терять энергию и чрезвычайно медленно испаряться.

Популярное объяснение этого процесса обычно выглядит так: квантовые флуктуации возле горизонта событий создают пару частица — античастица. Одна падает в черную дыру, другая улетает наружу и становится излучением Хокинга. Это полезная наглядная аналогия, но реальная квантовая теория значительно сложнее и не требует буквально представлять частицы как пары, постоянно возникающие прямо на горизонте.

Именно роль самого горизонта заинтересовала астронома Хейно Фальке, физика Михаэля Вондрака и математика Вальтера ван Суйлекома. В предыдущих исследованиях они пришли к выводу, что горизонт событий может играть в возникновении подобного излучения менее фундаментальную роль, чем принято считать.

Теперь исследователи решили поставить вопрос максимально жестко. Что произойдет, если вообще отказаться от вечной черной дыры и создать модель, где сильная гравитация существует лишь некоторое время?

Математически эксперимент выглядит почти провокационно. Сначала пространство находится в исходном состоянии. Затем исследователь словно поворачивает воображаемый переключатель и «включает» гравитационное поле. Оно действует некоторое время, после чего его снова выключают. Геометрия пространства в итоге возвращается к первоначальной.

Но квантовое поле не забывает, что произошло. После завершения гравитационного воздействия расчеты показывают наличие частиц. Иначе говоря, временное искривление пространства-времени способно преобразовать квантовые возбуждения таким образом, что после исчезновения причины остаются наблюдаемые последствия.

Чтобы построить такую модель, исследователи обратились к другому знаменитому явлению квантовой физики — эффекту Швингера. Он предсказывает, что достаточно сильное электрическое поле способно приводить к рождению пар частиц из квантового вакуума. Важную роль в математическом описании играет то, как электрическое поле включается и выключается.

Возник естественный вопрос: можно ли создать аналогичную конструкцию для гравитации? Задача оказалась значительно сложнее. Электромагнитное поле существует внутри пространства-времени, тогда как в общей теории относительности гравитация связана с геометрией самого пространства-времени. Поэтому недостаточно просто заменить в формулах электрическое поле гравитационным.

Неожиданная подсказка пришла из математики XIX века. По словам ван Суйлекома, во время обычного разговора у кофемашины коллега упомянул старое дифференциальное уравнение, которое оказалось именно тем инструментом, которого не хватало для построения модели.

Этот эпизод хорошо показывает странную долговечность фундаментальной математики. Уравнения, созданные задолго до квантовой механики, общей теории относительности и даже самого понятия черной дыры, спустя более века могут неожиданно оказаться ключом к современным проблемам квантовой гравитации.

После компьютерного моделирования математическая конструкция сработала. Исследователям удалось описать ситуацию, в которой гравитационное воздействие появляется, существует ограниченное время и исчезает, но квантовое поле после этого уже не возвращается в прежнее состояние.

Как вообще из «ничего» могут возникнуть частицы? Здесь важно понимать, что квантовый вакуум — не абсолютная пустота в бытовом смысле. Это минимальное энергетическое состояние квантовых полей. А само понятие частицы зависит от того, как эти поля наблюдаются и как меняется окружающее пространство-время.

Если геометрия пространства меняется, понятия «до» и «после» могут соответствовать разным определениям вакуума. Состояние, выглядевшее пустым до воздействия, после динамической перестройки пространства-времени может восприниматься как состояние, содержащее частицы.

Можно провести осторожную аналогию с натянутой струной. Если быстро изменить условия, в которых она находится, а затем вернуть их назад, струна необязательно снова окажется неподвижной. Внешнее воздействие исчезло, но колебания остались. В квантовой теории роль струны выполняют поля, а изменяющаяся гравитация способна менять их состояние.

Работа важна еще и потому, что связывает два знаменитых механизма — излучение Хокинга и эффект Швингера. В одном случае рождение частиц связано с гравитацией и искривленным пространством-временем, в другом — с сильным электрическим полем. Математические параллели между ними позволяют исследовать более общий вопрос: каким образом внешние поля превращают квантовый вакуум в наблюдаемую материю.

Однако модель не означает, что физики научились включать и выключать гравитацию в лаборатории. Речь идет о математической конструкции, предназначенной для проверки фундаментальных принципов. Она также не

отменяет существование горизонтов событий у реальных черных дыр.

Главный результат тоньше и интереснее. Для возникновения частиц может быть важна не только особая граница черной дыры, но и сама динамика сильного гравитационного поля.

Это расширяет вопрос далеко за пределы черных дыр. Вселенная неоднократно проходила через эпохи, когда геометрия пространства-времени быстро изменялась. Особенно экстремальными условия были в ее ранней истории. Если изменяющаяся гравитация способна оставлять после себя частицы, подобные механизмы потенциально могут быть важны для понимания того, как квантовые поля вели себя в молодой Вселенной.

И здесь возникает почти философский итог. Пространство может вернуться к прежнему виду, гравитационное возмущение исчезнуть, а физическая система — уже никогда не стать полностью прежней. На квантовом уровне Вселенная способна сохранять память о том, что с ней происходило. Иногда эта память может принимать вполне материальную форму — в виде частиц, которых до гравитационного воздействия не было.

Ссылка: «Создание частиц в космологическом фоне по аналогии с эффектом Швингера» DOI: [10.1007/s00220-026-05700-7](https://doi.org/10.1007/s00220-026-05700-7).