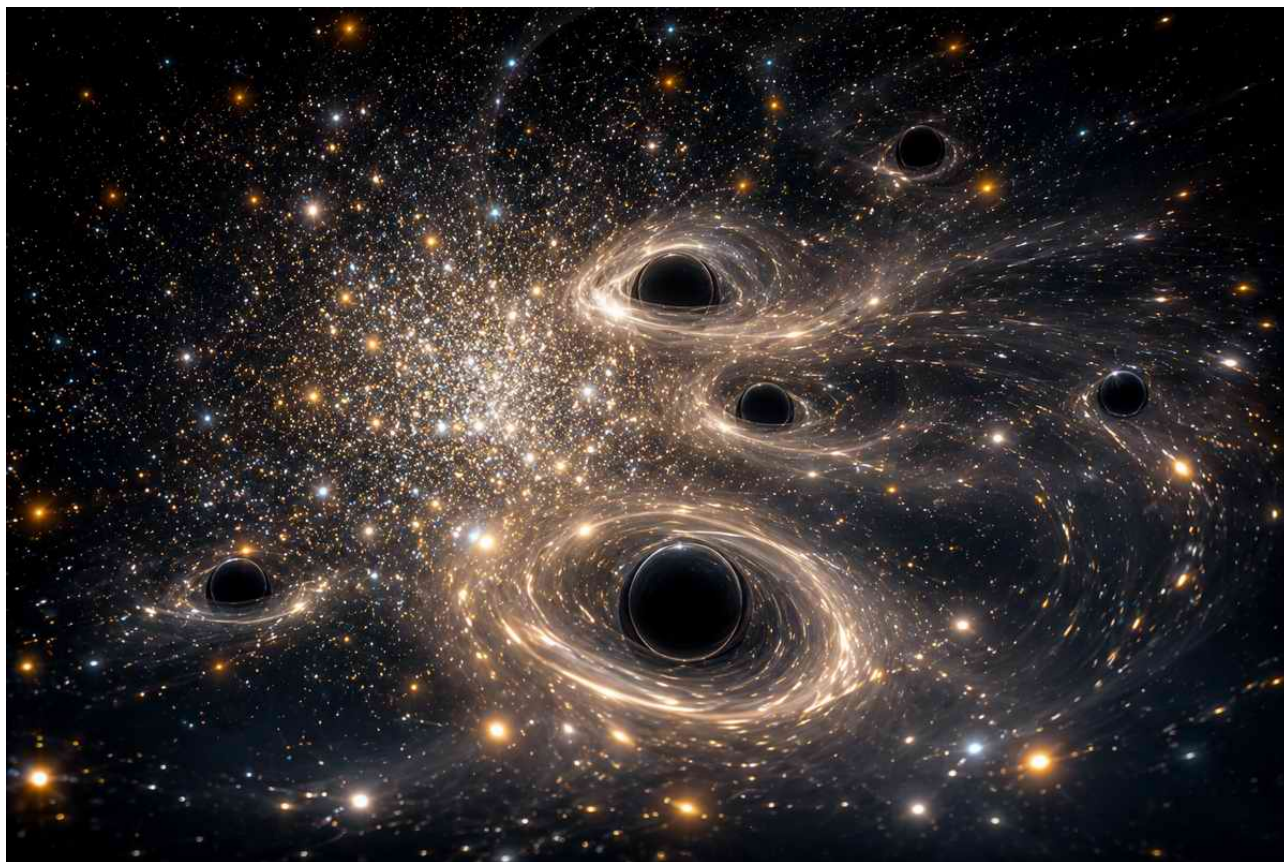


Гигантские чёрные дыры рождаются в цепочке слияний: новые данные гравитационных волн



Дата публикации: 07.05.2026

Современные наблюдения гравитационных волн постепенно меняют представление о происхождении самых массивных чёрных дыр во Вселенной. Новое исследование показывает, что многие из них не образуются напрямую при коллапсе массивных звёзд, а являются результатом сложной и длительной эволюции, происходящей в плотных звёздных скоплениях. В таких экстремальных условиях чёрные дыры могут многократно сталкиваться и сливаться, формируя всё более массивные объекты, чья история буквально «записана» в гравитационных волнах.

Анализ основан на данных каталога гравитационно-волновых событий GWTC-4, полученных коллаборациями LIGO, Virgo и KAGRA. В каталоге содержится более сотни достоверных наблюдений слияний чёрных дыр, что позволяет исследовать не только сами события, но и статистические свойства популяции таких объектов. Ученые использовали эти данные, чтобы проверить гипотезу о существовании так называемых чёрных дыр второго поколения — объектов, сформированных в результате предыдущих слияний.

Результаты, опубликованные в *Nature Astronomy*, показали, что популяция чёрных дыр делится на две отчетливые группы. Первая включает объекты меньшей массы, которые, по всей видимости, образуются в результате стандартного коллапса массивных звёзд. Вторая группа состоит из значительно более тяжёлых чёрных дыр, чьи характеристики, включая скорость вращения и ориентацию спина, указывают на их происхождение через повторяющиеся слияния в плотных скоплениях.

Особое значение имеет поведение вращения. У менее массивных объектов вращение обычно медленное и упорядоченное, тогда как у более массивных чёрных дыр наблюдаются высокие скорости вращения с хаотически распределёнными ориентациями. Такой паттерн трудно объяснить эволюцией двойных звёздных систем, но он естественно возникает в условиях плотных скоплений, где многочисленные гравитационные взаимодействия приводят к случайным столкновениям и слияниям.

Важным результатом стало обнаружение так называемого «разрыва масс» — диапазона, в котором чёрные дыры не должны образовываться напрямую из звёзд. Теоретически это связано с эффектом парной нестабильности, при котором очень массивные звезды разрушаются взрывом, не оставляя после себя остатка в виде чёрной дыры. Исследование показало, что граница этого диапазона находится примерно на уровне 45 масс Солнца, однако наблюдения фиксируют объекты, находящиеся вблизи или внутри этого диапазона, что подтверждает их происхождение через слияния.

Такие результаты имеют далеко идущие последствия для понимания эволюции звёзд и динамики звёздных скоплений. Они указывают на то, что плотные гравитационные среды играют ключевую роль в формировании самых массивных чёрных дыр. В этих условиях возможны многократные столкновения, ускоряющие рост массы и создающие объекты, которые невозможно объяснить только стандартными механизмами звёздной эволюции.

Дополнительный интерес представляет связь с ядерной физикой. Предел массы, обусловленный парной нестабильностью, зависит от процессов, происходящих в ядрах звёзд, в частности от реакций горения гелия. Таким образом, наблюдения гравитационных волн могут служить инструментом для косвенного изучения ядерных процессов, происходящих в экстремальных условиях, недоступных для лабораторных экспериментов.

Развитие гравитационно-волновой астрономии открывает новую эпоху, в которой изучение чёрных дыр выходит за рамки их обнаружения. Теперь ученые могут анализировать их происхождение, эволюцию и роль в структуре Вселенной. Это позволяет не только уточнять модели формирования звёзд, но и

лучше понимать динамику галактик и скоплений.

Таким образом, крупнейшие чёрные дыры оказываются продуктом не единичных катастрофических событий, а сложных цепочек взаимодействий, происходящих в плотных звёздных системах. Их свойства несут в себе информацию о прошлых столкновениях, что делает гравитационные волны уникальным инструментом для изучения истории Вселенной, динамики скоплений, эволюции звёзд, фундаментальных физических процессов.

Ссылка: «Ограничения гравитационных волн на разрыв масс парной неустойчивости и ядерное горение в массивных звездах» DOI: [10.1038/s41550-026-02847-0](https://doi.org/10.1038/s41550-026-02847-0).