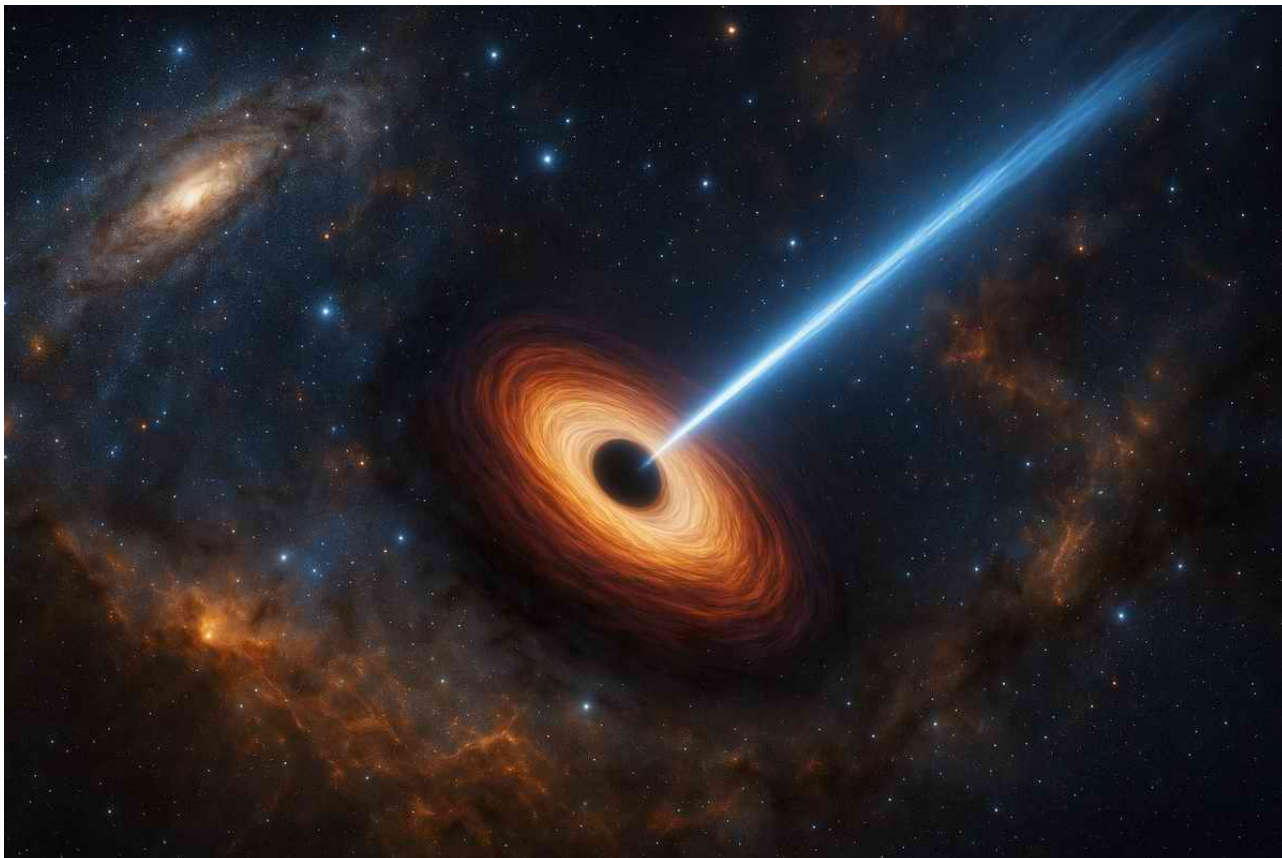


## Черные дыры и тайна космических лучей: найден правдоподобное объяснение шестидесятилетней загадки



Дата публикации: 01.10.2025

Вселенная излучает неисчерпаемый поток энергии, часть которого достигает Земли в виде электромагнитных волн, нейтрино и космических лучей. Эти лучи представляют собой не световые потоки, а мельчайшие частицы, чаще всего атомные ядра, которые разогнаны до скоростей, близких к световым. Многие из них возникают в экстремальных процессах, сопровождающих жизнь и смерть звезд, однако самые мощные частицы, открытые ещё в 1960-х годах, до сих пор остаются загадкой. Их энергия в миллионы раз превышает ту, что мы способны воспроизвести в земных ускорителях, и их происхождение десятилетиями оставалось спорным вопросом в науке.

Свежие исследования группы астрофизиков из Норвежского университета естественных и технических наук позволяют предположить, что разгадка скрыта в феномене, который сам по себе поражает масштабами — в ветрах сверхмассивных черных дыр. Эти космические колоссы, находящиеся в центрах галактик, поглощают колоссальные массы вещества, но часть материи, вопреки

гравитации, выбрасывается наружу в виде потоков со скоростью до половины скорости света. Такие ветры способны перестраивать целые галактики, лишая их газа и подавляя рождение новых звезд. Теперь же есть основания полагать, что они могут быть и гигантскими ускорителями частиц.

Физика этих процессов выглядит впечатляюще. Внутри ядра атома заключены протоны и нейтроны, и когда такие частицы ускоряются в экстремальных условиях, они достигают энергии порядка  $10^{20}$  электрон-вольт. Для наглядности: столь малый объект способен нести энергию, сопоставимую с движением теннисного мяча, пущенного на скорости 200 км/ч. Это примерно в миллиард раз больше, чем дают самые мощные эксперименты на Большом адронном коллайдере. На Земле такие частицы безопасны — они мгновенно взаимодействуют с атмосферой, создавая каскады вторичных частиц, но в космосе их существование ставит перед наукой фундаментальные вопросы.

Ранее выдвигались гипотезы, связывавшие происхождение этих частиц с гамма-всплесками, взрывами сверхновых или активными джетами чёрных дыр. Однако у каждой из моделей были пробелы. Новая работа показывает, что именно ветры чёрных дыр обладают подходящими характеристиками для разгона ядер до экстремальных энергий. В моделях учитывались химический состав, плотность и динамика потоков, и оказалось, что условия вблизи активных ядер галактик идеально подходят для такого ускорения.

Особый интерес вызывает согласование модели с наблюдаемым химическим составом космических лучей. В определённых диапазонах энергии структура частиц остаётся необъяснённой другими теориями, тогда как модель «ветров чёрных дыр» демонстрирует естественное объяснение. Более того, она открывает перспективу тестирования через нейтринную астрономию. Ведь вместе с ускоренными ядрами должны рождаться нейтрино — частицы-призраки, которые почти не взаимодействуют с веществом, но несут информацию о самых экстремальных процессах во Вселенной.

Таким образом, открывается новая глава в понимании космических лучей. Если гипотеза подтвердится, то мы сможем рассматривать сверхмассивные чёрные дыры не только как разрушительные силы, формирующие эволюцию галактик, но и как уникальные лаборатории ускорения частиц. Это позволит объяснить наблюдаемые характеристики космического излучения, лучше понять его воздействие на планеты и космические аппараты и даже оценить возможные риски для будущих межпланетных экспедиций.

Наука ещё далека от окончательного ответа. Но каждое новое исследование, подобное этому, помогает сложить частицы мозаики в цельную картину. Космические лучи, одна из самых загадочных форм энергии во Вселенной,

постепенно перестают быть тайной, а черные дыры всё больше подтверждают свой статус не только разрушителей, но и создателей космических процессов.

**Ссылка:** «Космические лучи сверхвысоких энергий, возникающие из сверхбыстрых потоков активных ядер галактик» [DOI: 10.1093/mnras/staf457](https://doi.org/10.1093/mnras/staf457).