

Почему ученые до сих пор не могут измерить максимальную скорость вращения черных дыр



Дата публикации: 16.07.2026

Черные дыры остаются одними из самых загадочных объектов во Вселенной. Несмотря на то что они не излучают собственный свет и известны прежде всего своей колоссальной гравитацией, современные исследования показывают, что практически все черные дыры вращаются, причем некоторые из них делают это с невероятной скоростью. Именно скорость вращения определяет, насколько эффективно черная дыра поглощает вещество, формирует мощные релятивистские струи, влияет на окружающее пространство и даже на эволюцию целых галактик.

Однако определить предельную скорость вращения черной дыры оказалось значительно сложнее, чем предполагали ученые. Новое исследование показывает, что современные наземные инструменты пока не способны окончательно разрешить этот вопрос. Для этого астрономам, вероятнее всего, придется вынести часть телескопов в космос.

В общей теории относительности вращающаяся черная дыра описывается

решением Керра. В отличие от невращающихся объектов, такие черные дыры не только искривляют пространство-время, но и буквально увлекают его за собой. Это явление известно как эффект увлечения системы отсчета или frame dragging. В непосредственной близости от горизонта событий пространство начинает вращаться вместе с самой черной дырой, заставляя вещество и даже свет двигаться по необычным траекториям.

Скорость вращения играет ключевую роль практически во всех физических процессах возле черной дыры. Чем быстрее вращение, тем ближе к горизонту событий может существовать аккреционный диск, тем больше энергии удастся извлечь из падающего вещества и тем мощнее могут становиться струи плазмы, выбрасываемые на тысячи и даже миллионы световых лет.

На протяжении нескольких десятилетий астрофизики спорят о том, существует ли фундаментальный предел скорости вращения черной дыры и какие процессы не позволяют ей ускоряться бесконечно.

Наиболее известная модель была предложена лауреатом Нобелевской премии Кипом Торном еще в 1970-х годах. Согласно этой теории, вращение ограничивается примерно 99,8% максимально возможного значения. Главным тормозящим механизмом становятся фотоны, испускаемые горячим аккреционным диском. Излучение переносит часть углового момента и постепенно препятствует дальнейшему ускорению черной дыры.

Спустя несколько десятилетий появилась альтернативная гипотеза. Согласно ей, значительно более важную роль играют мощные магнитные поля, возникающие вокруг черной дыры. Они формируют релятивистские струи, которые выносят часть энергии вращения в окружающее пространство. В результате максимальная скорость оказывается заметно ниже — около 93,75% теоретического предела.

Разница между двумя моделями кажется небольшой, однако именно она позволяет определить, какие физические процессы доминируют в окрестностях сверхмассивных черных дыр и каким образом они взаимодействуют со своими галактиками.

До последнего времени проверить эти гипотезы было практически невозможно. Настоящий прорыв произошел после создания Телескопа горизонта событий (Event Horizon Telescope, ЕНТ) — уникальной международной сети радиотелескопов, работающих как единый гигантский инструмент благодаря технологии интерферометрии со сверхдлинной базой.

Именно ЕНТ впервые позволил получить изображения сверхмассивной черной дыры в центре галактики М87, а затем и черной дыры Стрелец А* (Sgr

А*) в центре Млечного Пути. Эти снимки стали одним из крупнейших достижений современной астрономии и подтвердили многие предсказания общей теории относительности.

Тем не менее новое исследование показывает, что даже столь впечатляющий инструмент пока не обладает достаточной разрешающей способностью для решения задачи определения максимальной скорости вращения.

Чтобы проверить возможности существующих наблюдений, исследователи построили чрезвычайно детальные трехмерные модели поведения плазмы возле черной дыры с использованием общей релятивистской магнитогидродинамики. Эти вычисления позволяют одновременно учитывать влияние сильной гравитации, магнитных полей, движения горячей плазмы и искривления пространства-времени.

Затем специалисты смоделировали два варианта вращения черной дыры — в соответствии с обеими конкурирующими теориями. После этого были построены синтетические изображения, максимально точно имитирующие данные, которые способен получить Телескоп горизонта событий.

Результат оказался неожиданным. Практически все наблюдаемые характеристики обеих моделей оказались почти идентичными. Размер аккреционного диска, яркость окружающей плазмы, форма релятивистских струй, распределение поляризации и изменение светимости различались настолько слабо, что современные наблюдения не позволяют надежно определить, какая из теорий ближе к реальности.

Однако исследование выявило другую перспективную возможность. Внутри яркого светящегося кольца, которое обычно видно на изображениях черных дыр, скрывается значительно более тонкая структура — фотонное кольцо.

Фотонное кольцо представляет собой чрезвычайно узкую область, сформированную светом, который совершил один или несколько оборотов вокруг черной дыры, прежде чем покинуть ее окрестности и достичь Земли. Эти фотоны движутся по крайне сложным траекториям, определяемым исключительно сильной гравитацией.

Именно форма и структура фотонного кольца содержат наиболее точную информацию о скорости вращения черной дыры и свойствах окружающего пространства-времени. Проблема заключается в том, что размеры этой области настолько малы, что существующие наземные телескопы не способны ее различить.

Для наблюдения фотонного кольца потребуется разрешение примерно в

четыре раза выше, чем может обеспечить нынешний Телескоп горизонта событий.

Именно здесь на сцену выходит перспективный международный проект Black Hole Explorer (BHEx). В настоящее время эта космическая миссия находится на стадии разработки. Ее основная идея заключается в размещении радиотелескопа на околоземной орбите, который будет работать совместно с крупнейшими наземными обсерваториями.

Такой подход позволит значительно увеличить расстояние между элементами интерферометра, а значит, существенно повысить угловое разрешение всей системы. Фактически ученые создадут виртуальный телескоп размером, превосходящим диаметр Земли.

Если проект будет реализован, астрономы смогут впервые напрямую наблюдать фотонное кольцо вокруг сверхмассивной черной дыры Стрелец A*. Это позволит определить форму пространства в непосредственной близости от горизонта событий и значительно точнее измерить параметры вращения.

Подобные исследования имеют значение далеко не только для изучения самих черных дыр. Скорость их вращения тесно связана с процессами роста галактик, образованием релятивистских джетов, распределением энергии в межгалактической среде и даже с историей формирования сверхмассивных объектов во Вселенной.

Кроме того, точные измерения могут стать одной из самых строгих проверок общей теории относительности в экстремальных условиях. Если реальные наблюдения будут заметно отличаться от предсказаний теории Эйнштейна, это может стать первым свидетельством существования новой физики, выходящей за рамки современных представлений о гравитации.

Особый интерес представляет и сама черная дыра Стрелец A*, расположенная примерно в 26 тысячах световых лет от Земли в центре нашей галактики. Ее масса составляет около четырех миллионов масс Солнца, что делает этот объект наиболее удобной природной лабораторией для проверки фундаментальных законов физики.

Несмотря на впечатляющий прогресс последних лет, исследователи подчеркивают, что человечество пока находится лишь в начале эпохи непосредственного изучения горизонтов событий. Новое поколение космических интерферометров, более чувствительных радиотелескопов и совершенствование методов моделирования плазмы обещают вывести исследования черных дыр на принципиально новый уровень.

Если миссия Black Hole Explorer будет успешно реализована в ближайшее десятилетие, один из самых продолжительных споров современной астрофизики — о предельной скорости вращения черных дыр — наконец может получить окончательный ответ. Одновременно ученые получают возможность увидеть самые экстремальные области пространства-времени с беспрецедентной детализацией и проверить фундаментальные законы Вселенной в условиях, которые невозможно воспроизвести ни в одной земной лаборатории.

Ссылка: «Наблюдательные свойства сверхмассивных черных дыр с почти максимальным вращением» DOI: [10.48550/arxiv.2603.02520](https://doi.org/10.48550/arxiv.2603.02520).