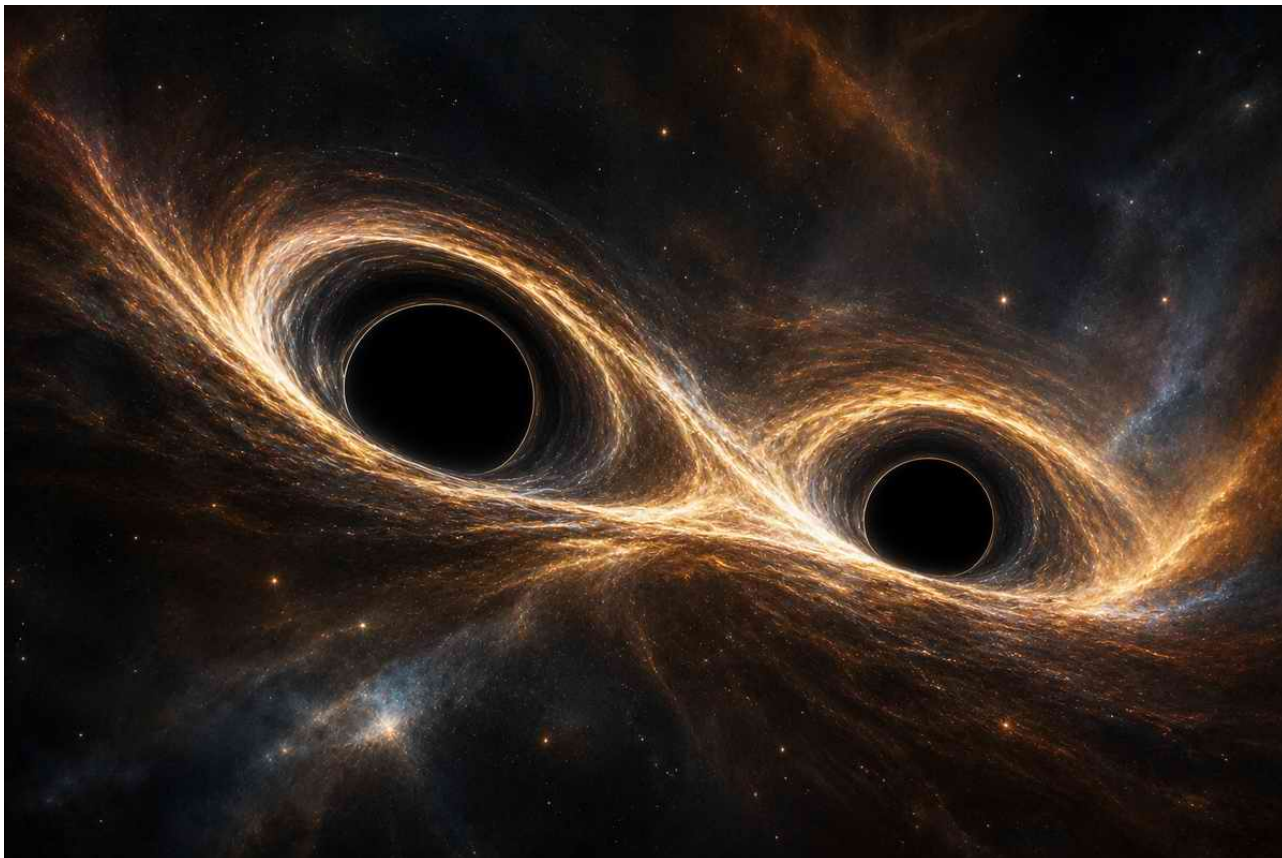


## Столкновения черных дыр могут подчиняться закону энтропии: физики предложили новый способ предсказывать их поведение



Дата публикации: 09.07.2026

Столкновения черных дыр относятся к самым мощным и загадочным явлениям во Вселенной. Когда две сверхмассивные области искривленного пространства-времени постепенно сближаются, они начинают вращаться друг вокруг друга, теряя энергию в виде гравитационных волн. В конечном итоге происходит их слияние, сопровождающееся колоссальным выбросом энергии и образованием новой, более массивной черной дыры.

Подобные события настолько масштабны, что возникающие гравитационные волны способны преодолевать миллиарды световых лет и достигать Земли. Именно благодаря регистрации этих едва заметных колебаний пространства-времени ученые сегодня получают возможность изучать процессы, происходящие в самых экстремальных уголках Вселенной.

Однако интерпретация таких сигналов остается чрезвычайно сложной задачей. Чтобы определить массу, скорость вращения и другие параметры

образовавшейся черной дыры, физики обычно используют сложнейшие вычисления, основанные на общей теории относительности Альберта Эйнштейна. Эти модели требуют работы суперкомпьютеров и многодневных расчетов.

Теперь исследователи предложили неожиданную альтернативу. Согласно новой работе, опубликованной в журнале *Physical Review Letters*, поведение сталкивающихся черных дыр может подчиняться гораздо более универсальному физическому принципу — максимизации энтропии.

Если гипотеза подтвердится, прогнозировать свойства конечной черной дыры станет значительно проще, а сама идея может изменить представления о фундаментальных законах природы. Чтобы понять значение открытия, необходимо вспомнить, что такое энтропия.

В классической термодинамике энтропия описывает степень беспорядка системы или, более строго, количество возможных микроскопических состояний, соответствующих одному и тому же макроскопическому состоянию. Именно энтропия объясняет, почему многие процессы в природе происходят только в одном направлении.

Например, горячий чай неизбежно остывает, дым рассеивается в воздухе, а аккуратно сложенные вещи легче привести в беспорядок, чем хаотично разбросанные предметы самостоятельно сложатся в идеальном порядке. Подобные процессы отражают естественное стремление физических систем переходить в состояния с большей энтропией.

До второй половины XX века считалось, что подобные идеи практически не имеют отношения к черным дырам. Они воспринимались как особые объекты, полностью описываемые уравнениями общей теории относительности.

Ситуация изменилась после работ выдающихся физиков, включая Стивена Хокинга и Джейкоба Бекенштейна, которые показали, что черные дыры также обладают температурой и энтропией. Более того, площадь горизонта событий напрямую связана с величиной их энтропии, а сами черные дыры способны медленно испаряться благодаря квантовым эффектам, известным как излучение Хокинга.

Эти открытия объединили сразу несколько фундаментальных разделов физики — гравитацию, квантовую механику и термодинамику. Новая работа делает следующий шаг в этом направлении. Исследовательская группа предположила, что процесс слияния двух черных дыр также может подчиняться принципу максимальной энтропии. Иначе говоря, после завершения столкновения система естественным образом переходит в наиболее вероятное и

наиболее «выгодное» с точки зрения энтропии состояние.

Во время слияния значительная часть энергии и углового момента уносится гравитационными волнами. После этого образовавшаяся черная дыра некоторое время остается нестабильной и испытывает своеобразные колебания, которые физики сравнивают со звоном колокола.

Постепенно эти колебания затухают, а объект приходит в устойчивое состояние, которое полностью характеризуется всего двумя основными параметрами — массой и скоростью вращения. Именно эти параметры исследователи попытались определить не с помощью полного численного моделирования общей теории относительности, а используя исключительно термодинамические принципы.

Для этого ученые рассмотрели множество возможных вариантов конечного состояния черной дыры при различных значениях массы и углового момента. Затем они вычислили, при каких параметрах энтропия системы достигает максимума. Результат оказался весьма неожиданным.

Максимум энтропии практически совпал с теми значениями массы и вращения, которые ранее были получены при помощи чрезвычайно сложных компьютерных расчетов общей теории относительности. Расхождение составило всего несколько процентов. Фактически это означает, что поведение столь сложной гравитационной системы может определяться удивительно простым физическим принципом.

Подобная идея напоминает привычные процессы в обычной термодинамике. Например, если смешать два объема горячего газа, физикам не требуется рассчитывать движение каждой отдельной молекулы, чтобы определить конечную температуру смеси. Достаточно воспользоваться фундаментальными законами сохранения энергии и принципом максимальной энтропии.

Исследователи предполагают, что аналогичный подход может работать и для черных дыр. Если эта гипотеза окажется универсальной, она позволит существенно сократить объем вычислений при анализе сигналов, регистрируемых современными гравитационно-волновыми обсерваториями.

Сегодня такие установки, как LIGO, Virgo и KAGRA, регулярно фиксируют новые события слияния черных дыр. По мере строительства обсерваторий следующего поколения количество обнаружений возрастет в десятки и сотни раз. Поэтому любые методы, позволяющие быстрее интерпретировать поступающие данные, приобретают особую ценность.

Не менее интересны фундаментальные выводы работы. Согласно

современной теории, после завершения слияния черная дыра практически полностью теряет информацию о деталях столкновения. Это свойство известно как принцип «безволосости» черных дыр. В устойчивом состоянии объект «помнит» только свою массу, электрический заряд и момент вращения.

Новое исследование показывает, что именно термодинамические законы могут определять, каким окажется это окончательное состояние. Иначе говоря, сложнейшие процессы взаимодействия гигантских гравитационных объектов, возможно, подчиняются тем же универсальным принципам, которые управляют поведением обычных газов, жидкостей и других физических систем.

Подобная связь между гравитацией и термодинамикой остается одной из самых интригующих тем современной фундаментальной физики. Многие исследователи считают, что именно здесь может скрываться путь к созданию единой теории, объединяющей общую теорию относительности с квантовой механикой — одной из главных нерешенных задач современной науки.

Авторы работы подчеркивают, что предложенная ими гипотеза пока требует дальнейшей проверки на значительно большем числе моделей столкновений. Необходимо убедиться, что принцип максимальной энтропии сохраняется при различных массах, скоростях вращения и других характеристиках сталкивающихся черных дыр.

Если дальнейшие исследования подтвердят результаты, ученые получат не только более простой инструмент анализа гравитационных волн, но и новое свидетельство того, что во Вселенной существуют единые фундаментальные принципы, связывающие между собой явления самых разных масштабов — от хаотического движения молекул в газе до грандиозных столкновений черных дыр, происходящих на расстоянии миллиардов световых лет.

Это открытие еще раз демонстрирует, что даже самые загадочные объекты космоса могут подчиняться удивительно простым законам природы. Чем глубже физики изучают экстремальные явления Вселенной, тем отчетливее становится видно, что фундаментальные принципы, управляющие повседневным миром, могут работать и в самых невероятных условиях, где пространство, время и гравитация достигают своих предельных значений.

**Ссылка:** «Гипотеза о максимальной энтропии для слияний черных дыр» DOI: [10.1103/hvp6-ydbq](https://doi.org/10.1103/hvp6-ydbq).