

Парадокс информации в черной дыре: исчезает ли информация навсегда



Дата публикации: 09.06.2026

В 1974 году британский физик Стивен Хокинг сделал открытие, которое навсегда изменило представления о черных дырах. До этого считалось, что черная дыра является абсолютно темным объектом, из которого ничто не может вырваться наружу. Однако Хокинг показал, что квантовые эффекты вблизи горизонта событий приводят к появлению слабого теплового излучения. Сегодня оно известно как излучение Хокинга.

Согласно этой теории, черная дыра не является полностью вечной. Испуская частицы и теряя энергию, она постепенно уменьшается в массе. Если не происходит притока нового вещества, процесс продолжается миллиарды и даже триллионы лет, пока черная дыра полностью не испарится.

Именно здесь возникает одна из самых глубоких проблем современной физики — парадокс информации в черной дыре.

Представим, что в черную дыру падает книга. В ней содержится огромное количество информации: текст, рисунки, химический состав бумаги, структура

чернил. Согласно общей теории относительности Альберта Эйнштейна, после пересечения горизонта событий эта информация оказывается скрытой внутри черной дыры. Пока сама черная дыра существует, противоречия вроде бы нет.

Но если объект в конечном итоге полностью испаряется благодаря излучению Хокинга, возникает вопрос: куда делась информация о книге?

Классический расчет Хокинга показывал, что излучение черной дыры носит тепловой характер и не содержит сведений о том, что ранее упало внутрь. После полного испарения остается только набор случайных частиц. Получается, что информация исчезает навсегда.

Проблема заключается в том, что квантовая механика запрещает такое поведение. В фундаментальных уравнениях квантовой теории информация о состоянии замкнутой системы должна сохраняться. Она может быть чрезвычайно сложным образом перераспределена, но не может просто исчезнуть. Если же информация действительно уничтожается в черной дыре, то приходится пересматривать основы квантовой физики.

Так возник конфликт между двумя величайшими теориями XX века. Общая теория относительности прекрасно описывает гравитацию и структуру пространства-времени. Квантовая механика столь же успешно объясняет поведение частиц и полей. Однако в вопросе испарения черных дыр их выводы оказались несовместимыми.

Долгое время сам Хокинг придерживался позиции, что информация безвозвратно теряется. В 1997 году он заключил знаменитое пари с физиками Джон Прескилл и Кип Торн. Хокинг и Торн утверждали, что информация исчезает, тогда как Прескилл настаивал на ее сохранении.

В конце 1990-х и начале 2000-х годов появились новые идеи, которые постепенно изменили ситуацию. Одной из самых влиятельных стала концепция голографического принципа. Согласно ей, информация о трехмерном объеме пространства может быть закодирована на двумерной поверхности, ограничивающей этот объем. Для черной дыры такой поверхностью является горизонт событий.

Важным шагом стала работа Хуан Малдасена, опубликованная в 1997 году. Он предложил знаменитую дуальность AdS/CFT — математическое соответствие между теорией гравитации в одном пространстве и квантовой теорией без гравитации на его границе. В этой модели информация сохраняется автоматически. Многие физики увидели в этом серьезный аргумент против идеи окончательной потери информации.

В 2004 году Хокинг признал, что, вероятно, ошибался. На конференции в Дублине он объявил, что информация все же может сохраняться, и официально признал проигрыш пари Прескиллу. В качестве символического выигрыша Прескилл получил энциклопедию бейсбола — предмет, содержащий информацию, которую, по условиям спора, нельзя было потерять.

Однако признание проблемы не означало ее полного решения. Необходимо было показать конкретный механизм возврата информации из испаряющейся черной дыры.

Крупный прогресс произошел в последние годы благодаря развитию теории квантовой запутанности и так называемых квантовых островков. Работы 2024–2026 годов продолжают развивать идеи, возникшие несколькими годами ранее, и позволяют все точнее рассчитывать энтропию излучения Хокинга. Результаты показывают, что информация может постепенно возвращаться наружу через чрезвычайно тонкие корреляции между квантами излучения.

На первый взгляд отдельные фотоны излучения выглядят случайными. Однако если рассматривать весь поток целиком, между его частями обнаруживаются сложные связи. Именно в этих корреляциях, согласно современным моделям, и скрыта информация о веществах и объектах, которые когда-то упали в черную дыру.

Возвращаясь к примеру с книгой, новая картина выглядит необычно. Теоретически информацию о каждой странице можно было бы восстановить, анализируя все излучение Хокинга, испущенное за время жизни черной дыры. Практически такая задача кажется почти невозможной: объем вычислений оказался бы колоссальным. Тем не менее принципиально информация не уничтожается.

Несмотря на впечатляющий прогресс, окончательного ответа пока нет. Существующие расчеты опираются на приближенные модели и специальные геометрии пространства-времени. Для полного решения необходима квантовая теория гравитации, которая объединит общую теорию относительности и квантовую механику в единую непротиворечивую систему.

Сегодня большинство исследователей считают, что информация все же сохраняется. Голографический принцип, дуальность AdS/CFT и теория квантовых островков дают все больше свидетельств в пользу этого вывода. Парадокс информации в черной дыре еще не закрыт окончательно, но современная физика подошла к его разгадке ближе, чем когда-либо прежде. Наиболее вероятная картина состоит в том, что информация не исчезает, а сохраняется в скрытой форме, а голографическая природа гравитации

постепенно превращается из смелой идеи в один из ключевых принципов устройства Вселенной.