

Энтропия создает порядок? Новая теория гравитации предлагает неожиданное объяснение устройства Вселенной



Дата публикации: 18.07.2026

Второй закон термодинамики считается одним из самых фундаментальных законов природы. Еще Альберт Эйнштейн называл его уникальным среди всех физических законов, полагая, что он вряд ли когда-либо будет опровергнут. Согласно этому принципу, энтропия — физическая величина, характеризующая количество возможных состояний системы и часто связываемая с ростом беспорядка, — в замкнутой системе со временем может только увеличиваться. Именно этот закон определяет направление течения времени и объясняет необратимость большинства процессов, происходящих в природе.

Однако существует проблема, которая уже многие десятилетия остается одной из самых интересных загадок современной космологии. Если Вселенная непрерывно движется к состоянию большей энтропии, почему за миллиарды лет ее эволюции возникли столь сложные и высокоорганизованные структуры? Из относительно однородного первичного вещества появились галактики, звездные системы, планеты, сложные химические соединения, живые организмы и,

наконец, разумная жизнь. На первый взгляд подобное развитие противоречит идее непрерывного увеличения беспорядка.

Новую попытку объяснить этот парадокс предприняла профессор математики Лондонского университета королевы Марии Джинестра Бьянкони. В работе, опубликованной в журнале *Physical Review D*, она исследовала проблему в рамках собственной теории Gravity from Entropy (GfE) — модели, согласно которой гравитация не является фундаментальным взаимодействием, а возникает как следствие более глубоких информационных и термодинамических процессов.

Подобные идеи появились не на пустом месте. Еще в 1970-х годах Якоб Бекенштейн и Стивен Хокинг показали, что черные дыры обладают собственной энтропией и температурой, а также способны испускать тепловое излучение. Эти открытия впервые продемонстрировали, что между пространством-временем, информацией и законами термодинамики существует гораздо более глубокая связь, чем считалось ранее. С тех пор многие физики пытаются построить теорию, которая объединила бы общую теорию относительности, квантовую механику и статистическую физику в единую картину устройства Вселенной.

Теория GfE представляет собой один из таких подходов. В ней предполагается, что гравитация возникает вследствие информационного различия между истинной геометрией пространства-времени и геометрией, формируемой материей и кривизной пространства. Центральную роль в этой модели играет квантовая геометрическая относительная энтропия (Quantum Geometric Relative Entropy, QGRE), которая описывает это различие и фактически становится фундаментальной характеристикой пространства-времени.

Важным достоинством новой модели является то, что при обычных условиях она практически полностью совпадает с общей теорией относительности Эйнштейна. Все хорошо проверенные предсказания классической гравитации сохраняются. Однако в условиях очень высоких энергий, сильной кривизны пространства или на ранних этапах существования Вселенной теория начинает давать новые результаты. Одним из наиболее интересных следствий становится естественное появление динамической темной энергии — загадочного компонента, который, по современным представлениям, отвечает за ускоренное расширение Вселенной.

В новом исследовании профессор Бьянкони сосредоточилась не столько на гравитационных эффектах, сколько на термодинамических свойствах своей модели. Используя космологическую модель Фридмана—Робертсона—Уокера,

которая описывает расширяющуюся Вселенную, она исследовала, каким образом меняется энтропия по мере космической эволюции.

Полученные результаты оказались весьма неожиданными. Расчеты подтвердили, что второй закон термодинамики полностью выполняется: суммарная энтропия Вселенной действительно непрерывно возрастает. Но одновременно обнаружился второй процесс, который ранее практически не обсуждался. По мере расширения Вселенной энтропия, приходящаяся на единицу объема пространства, постепенно уменьшается.

Именно этот вывод может стать ключом к решению многолетнего космологического парадокса. Если глобальная энтропия возрастает, а локальная энтропия уменьшается, то внутри расширяющейся Вселенной естественным образом появляются условия для формирования все более сложных структур. Иными словами, образование галактик, звезд, планет и даже жизни вовсе не противоречит второму закону термодинамики. Напротив, подобная организация вещества может быть естественным следствием фундаментальных физических процессов.

Авторы предлагают по-новому взглянуть на само понятие порядка. В классическом представлении увеличение энтропии часто воспринимается как постепенный переход к хаосу. Однако новая теория показывает, что эти процессы могут происходить одновременно, но на разных масштабах. Пока общая энтропия всей Вселенной растет, локальные области способны становиться более организованными, создавая условия для возникновения сложных космических структур.

Еще одним интересным результатом работы стало появление у пространства-времени собственных термодинамических характеристик. В рамках теории GfE естественным образом возникают аналоги температуры, давления и внутренней энергии. При этом динамическая темная энергия интерпретируется как внутренняя энергия пространства-времени, а квантовая геометрическая относительная энтропия играет роль локальной энтропии. Такая картина позволяет рассматривать саму геометрию Вселенной как своеобразную физическую среду, обладающую собственными термодинамическими свойствами.

Исследование также показывает важную роль расширения Вселенной. По мере увеличения космических масштабов растет объем элементарных участков пространства. Именно это расширение обеспечивает одновременное увеличение полной энтропии и уменьшение локальной энтропии на единицу объема. Благодаря такому механизму процессы самоорганизации оказываются полностью совместимыми с фундаментальными законами термодинамики.

Несмотря на впечатляющие результаты, работа пока остается теоретической. Все выводы основаны на математическом моделировании и требуют дальнейшей проверки с помощью космологических наблюдений и будущих исследований квантовой гравитации. Тем не менее предложенная модель представляет большой интерес для современной фундаментальной физики, поскольку затрагивает сразу несколько ключевых проблем: происхождение пространства-времени, природу темной энергии, необратимость времени, связь информации с геометрией Вселенной и механизмы формирования космической структуры.

Если дальнейшие исследования подтвердят основные положения теории GfE, это может стать важным шагом к созданию единой физической картины мира, объединяющей общую теорию относительности, квантовую механику, статистическую физику и космологию. В такой модели пространство, время, информация, энтропия и гравитация перестанут рассматриваться как независимые понятия и окажутся различными проявлениями одного фундаментального механизма, определяющего эволюцию нашей Вселенной.

Ссылка: «Термодинамика гравитации на основе теории энтропии» DOI: [10.1103/26kn-thgp](https://doi.org/10.1103/26kn-thgp).