

Энтропийная гравитация вместо тёмной энергии: может ли информация ускорять расширение Вселенной



Дата публикации: 12.07.2026

Открытие ускоренного расширения Вселенной в конце XX века стало одним из крупнейших научных сюрпризов современной космологии. Согласно наиболее распространённой сегодня модели Λ CDM, причиной этого ускорения является загадочная тёмная энергия, которую математически описывает космологическая постоянная Эйнштейна. Несмотря на впечатляющее согласие модели с большинством наблюдений, сама природа тёмной энергии остаётся неизвестной. Более того, стандартная космология сталкивается с рядом серьёзных теоретических трудностей. Среди них особенно выделяются проблема тонкой настройки, требующая невероятно малого значения космологической постоянной по сравнению с предсказаниями квантовой теории поля, а также растущие расхождения между различными методами измерения постоянной Хаббла, известные как проблема Хаббла. Эти обстоятельства заставляют физиков искать альтернативные объяснения космического ускорения.

Одной из наиболее необычных современных идей стала теория GREa,

название которой расшифровывается как General Relativistic Entropic Acceleration — общерелятивистское энтропийное ускорение. Она предлагает отказаться от представления о тёмной энергии как о самостоятельной физической сущности и объяснить ускоренное расширение Вселенной совершенно иным механизмом. Вместо новой формы материи или энергии теория рассматривает энтропию и необратимые термодинамические процессы как источник космического ускорения.

Эта концепция была разработана в работах Хуана Гарсия-Беллидо и его коллег. Авторы построили ковариантный формализм неравновесной термодинамики, совместимый с общей теорией относительности. В отличие от классических уравнений Эйнштейна, где динамика пространства-времени считается обратимой относительно времени, GREA допускает явное нарушение этой симметрии при производстве энтропии. Именно необратимость процессов становится ключевым элементом новой картины мира.

При росте энтропии возникает дополнительная энтропийная сила. На языке космологии она проявляет себя подобно объёмной вязкости, создавая отрицательное эффективное давление. Именно отрицательное давление считается главным условием ускоренного расширения Вселенной. Однако в GREA оно возникает естественным образом как следствие термодинамики, а не благодаря существованию неизвестной формы энергии.

Особую роль в теории играют космологические горизонты и горизонты чёрных дыр. Их энтропия непрерывно увеличивается, а этот процесс, согласно модели, влияет на глобальную динамику пространства-времени. В результате современное ускорение расширения Вселенной оказывается следствием общего роста энтропии космоса. Особенно интересным является вывод о том, что вклад горизонта де Ситтера в гамильтонову связь оказывается математически эквивалентным действию космологической постоянной. Это делает GREA одной из наиболее простых реализаций голографического принципа, согласно которому фундаментальная информация о пространстве может быть закодирована на его границах.

Долгое время подобные идеи оставались главным образом теоретическими построениями. Однако в 2025 году группа исследователей выполнила одну из наиболее масштабных проверок модели, используя свежие данные спектроскопического обзора DESI DR2, наблюдения сверхновых типа Ia и информацию о реликтовом микроволновом излучении. Эти три независимых источника данных позволяют очень точно проследить историю расширения Вселенной практически на всём протяжении её эволюции.

Полученные результаты оказались весьма примечательными. Несмотря на то

что GREA не является частным случаем стандартной модели Λ CDM, она продемонстрировала сопоставимое качество согласия с наблюдениями. Иными словами, теория способна описывать реальные космологические данные не хуже наиболее распространённой современной модели.

Особенно интересными оказались параметры эффективного уравнения состояния. Наилучшее соответствие наблюдениям достигается при современном значении параметра, близком к $w_0 \approx -1$, которое совпадает с поведением космологической постоянной. Однако по мере движения в прошлое модель предсказывает прохождение через так называемый фантомный барьер при красных смещениях менее двух и значение производной w_a около $-0,3$. Это означает, что эффективная тёмная энергия в данной картине не является строго постоянной, а постепенно эволюционирует. Примечательно, что некоторые современные наблюдения также осторожно намекают на возможность подобного поведения, хотя окончательных выводов пока сделать нельзя.

Если дальнейшие измерения подтвердят именно такую эволюцию, это станет серьёзным аргументом в пользу энтропийного происхождения космического ускорения. В этом случае окажется, что ускоренное расширение не связано с существованием загадочной субстанции, а отражает фундаментальные термодинамические свойства самой Вселенной.

Теория GREA имеет и глубокие философские последствия. На протяжении большей части истории физики гравитация рассматривалась как фундаментальное взаимодействие. Сначала её описывали как силу, затем как искривление пространства-времени. Энтропийная гравитация предлагает ещё более радикальный взгляд. Согласно этой идее, гравитация вообще не является фундаментальной. Она возникает как коллективный эффект огромного числа микроскопических квантово-информационных степеней свободы, подобно тому как температура появляется благодаря хаотическому движению молекул, хотя сама по себе температура не существует на уровне отдельных частиц.

Такой подход всё сильнее сближает космологию с теорией информации. Всё больше современных исследований указывают на то, что информация может играть в устройстве природы не менее фундаментальную роль, чем энергия или материя. Тогда вопросы о том, из чего состоит пространство, почему существует гравитация и по какой причине расширяется Вселенная, могут оказаться различными проявлениями одной общей закономерности. Геометрия пространства-времени становится следствием организации квантовой информации, а ускорение космоса — результатом её непрерывной эволюции.

Ещё недавно подобные идеи казались исключительно философскими размышлениями. Однако современные космологические обзоры, высокоточные

карты распределения галактик, исследования сверхновых и реликтового излучения постепенно превращают их в проверяемые научные гипотезы. Именно возможность экспериментального сравнения с наблюдениями отличает современные энтропийные модели от чисто умозрительных построений прошлых десятилетий.

Сегодня GREA рассматривается не просто как очередная альтернатива Λ CDM, а как принципиально иной взгляд на природу космического ускорения. Вместо поиска неизвестной формы энергии теория предлагает обратиться к фундаментальным законам термодинамики и квантовой информации. Если её предсказания подтвердятся будущими наблюдениями, это будет означать, что пространство-время и гравитация являются эмерджентными свойствами глубинной квантово-информационной структуры реальности. Тогда Вселенная ускоряется не потому, что наполнена загадочной тёмной энергией, а потому, что содержащаяся в ней информация непрерывно перестраивается, а эта перестройка проявляется как геометрия пространства и космическое ускорение. Подобный результат стал бы одним из самых глубоких изменений в физической картине мира со времён появления общей теории относительности и квантовой механики.