

Гипотеза сверхмедленной космологической переработки (USCR) как решение проблемы космологической постоянной и природы тёмной энергии

Автор: Харрасов Тамерлан Дамирович

Дата: 14.04.2026

Категория: Физика/Химия

Тип: Гипотеза / Теоретическая работа

Аннотация

Предложена феноменологическая гипотеза сверхмедленной космологической переработки (USCR), согласно которой наблюдаемое уравнение состояния тёмной энергии ($w \approx -1$) является не фундаментальной космологической постоянной Λ , а проявлением крайне медленного, квазистатического цикла взаимного превращения энергии вакуума и материи. В рамках USCR Вселенная рассматривается как замкнутая система, в которой чёрные дыры выступают в роли областей фазового перехода, возвращающих барионную материю обратно в энергию вакуума.

Гипотеза, естественно, интегрирует активно развиваемую модель космологически связанных чёрных дыр (ССВН), которая в 2024–2025 гг. успешно воспроизводит данные DESI DR2, включая предпочтение эволюционирующей тёмной энергии и разрешение напряжённости с массами нейтрино. Характерное время полного цикла ($\tau \sim 10^{12} - 10^{14}$ лет) на много порядков превышает хаббловское время, поэтому на интервале $t \sim 13.8$ млрд лет параметр w выглядит практически постоянным. Обсуждаются устойчивость гравитационно-связанных структур в условиях ускоренного расширения и конкретные наблюдательные следствия гипотезы.

1. Введение

Стандартная космологическая модель Λ CDM демонстрирует впечатляющее согласие с наблюдениями крупномасштабной структуры и динамики Вселенной. Тем не менее, она опирается на две феноменологические компоненты — холодную тёмную материю и космологическую постоянную Λ , — происхождение которых остаётся неясным.

Центральной проблемой является **проблема космологической постоянной**: квантово-полевой расчёт энергии вакуума даёт значение, превышающее наблюдаемое на ~ 120 порядков [1]. Кроме того, недавние результаты второго релиза Dark Energy Spectroscopic

Instrument (DESI DR2) указывают на статистически значимое предпочтение моделей с эволюционирующей тёмной энергией по сравнению со статичной Λ CDM [2]. В частности, **CPL-параметризация** (Chevallier–Polarski–Linder, также известная как (w_0, w_a) -параметризация), где уравнение состояния имеет вид

$$w(a) = w_0 + w_a(1-a), w(a) = w_0 + w_a(1-a),$$

показывает лучшее согласие с данными (значимость предпочтения достигает $2.8 - 4.2 \sigma$ в зависимости от комбинации с данными по сверхновым и реликтовому излучению).

Эти данные открывают пространство для альтернативных подходов. Одним из наиболее перспективных является гипотеза **космологически связанных чёрных дыр (ССВН)**, развитая в работах Farrah, Croker, Tarlé и др. [3, 4]. В рамках ССВН чёрные дыры приобретают энергию пропорционально a^3 (где a — масштабный фактор) и могут выступать астрофизическим источником тёмной энергии, естественно воспроизводя эволюцию, наблюдаемую DESI. Более того, модель ССВН разрешает напряжённость с суммарной массой нейтрино, давая положительные значения $\sum m_\nu \approx 0.1$ эВ, согласующиеся с осцилляционными экспериментами [5].

В настоящей работе мы предлагаем **Гипотезу сверхмедленной космологической переработки (USCR)** — естественное обобщение идей ССВН, которое объединяет инфляцию, текущее ускоренное расширение и проблему Λ в рамках единого глобального цикла.

2. Формулировка гипотезы

USCR опирается на четыре ключевых постулата:

1. **Замкнутость энергетического цикла:** энергия вакуума способна конденсироваться в материю и, наоборот, материя может возвращаться в вакуум через экстремальные гравитационные объекты.
2. **Сверхмедленная динамика:** характерное время полного цикла «вакуум \rightarrow материя» составляет $\tau \sim 10^{12} - 10^{14}$ лет, что на много порядков превышает хаббловское время $t_H \approx 1.38 \times 10^{10}$ лет. Это делает процесс практически невидимым на текущем этапе эволюции Вселенной.

3. **Роль чёрных дыр:** чёрные дыры выступают основным механизмом «переработки», действуя как области фазового перехода материи в энергию вакуума (в духе ССВН).
4. **Локальная устойчивость:** гравитационно-связанные системы (галактики, звёздные скопления, чёрные дыры) остаются стабильными, поскольку тёмная энергия эффективно действует только на масштабах, где гравитационное притяжение пренебрежимо мало.

В результате уравнение состояния $w(t)$ медленно эволюционирует, однако на интервале $\Delta t \approx 13.8$ млрд лет его можно с высокой точностью аппроксимировать константой $w \approx -1$.

2.1 Оценка характерного времени цикла τ

Приведём простую количественную оценку времени цикла, опирающуюся на наблюдательные данные и модель ССВН.

Пусть в рамках USCR + ССВН доля барионной материи, конвертируемая в тёмную энергию за один полный цикл, составляет $\epsilon \sim 0.01 - 0.1$ (эффективность, совместимая с наблюдаемой долей звёздной массы, ушедшей в чёрные дыры, и текущей плотностью тёмной энергии $\Omega_\Lambda \approx 0.7$).

Текущая плотность энергии тёмной энергии $\rho_\Lambda \approx 6 \times 10^{-30}$ г/см³. Если эта энергия накоплена за счёт конверсии материи в течение времени τ , то средняя скорость производства тёмной энергии имеет порядок

$$\dot{\rho}_{DE} \sim \rho_\Lambda \tau^{-1}$$

С другой стороны, производство тёмной энергии в модели ССВН пропорционально интегралу по истории звездообразования (SFRD) и эффективности коллапса звёзд в чёрные дыры. Используя наблюдаемую интегральную плотность звездообразования за историю Вселенной ($\rho_* \sim 10^8 - 10^9 M_\odot \text{ Mpc}^{-3}$) и предполагая, что лишь малая доля $\eta \sim 10^{-3} - 10^{-2}$ этой массы переходит в космологически связанные чёрные дыры, дающие вклад $\propto a^3$, получаем грубую оценку:

$$\tau \approx \rho_\Lambda \epsilon \cdot \eta \cdot \rho_* \cdot c^2 / V_{\text{comov}} \cdot t_H, \tau \approx \epsilon \cdot \eta \cdot \rho_* \cdot c^2 / V_{\text{comov}} \rho_\Lambda \cdot t_H,$$

где V_{comov} — сопутствующий объём. Подставляя типичные значения, получаем

$$\tau \sim 10^{12} - 10^{14} \text{ лет. } \tau \sim 10^{12} - 10^{14} \text{ лет.}$$

Эта оценка показывает, что сверхмедленный характер цикла возникает естественно из малой эффективности конверсии и огромного объёма Вселенной, без необходимости дополнительной тонкой настройки. Полученный диапазон τ более чем на два порядка превышает возраст Вселенной, что объясняет, почему эволюция w остаётся незамеченной текущими наблюдениями.

3. Связь с гипотезой космологически связанных чёрных дыр (ССВН)

USCR тесно примыкает к модели ССВН, согласно которой чёрные дыры космологически связаны с расширением Вселенной и могут служить источником тёмной энергии. Работы Croker et al. (2024) [4] и Ahlen et al. (2025) [5] показали, что ССВН успешно воспроизводит предпочтение эволюционирующей тёмной энергии по данным DESI DR2 и одновременно даёт положительные массы нейтрино ($\sum m_\nu \approx 0.1$ эВ), устраняя противоречие со стандартной Λ CDM.

В рамках USCR механизм ССВН получает естественное объяснение как часть глобального сверхмедленного цикла. Гравитационный коллапс звёзд и последующая аккреция переводят барионную материю в энергию вакуума, замыкая цикл «материя \rightarrow вакуум». При этом чёрные дыры выступают не как финальные сингулярности, а как необходимые элементы космологического круговорота.

4. Объяснение наблюдаемого $w \approx -1$

Данные Planck 2018 [6] и DESI DR2 [2] ограничивают отклонение w от -1 на уровне нескольких процентов. Гипотеза USCR снимает это ограничение естественным образом: мы наблюдаем лишь крошечный, почти линейный участок очень длинной кривой $w(t)$ с периодом в триллионы лет. Разложение в ряд Тейлора при $t \ll \tau$ даёт

$$w(t) \approx \text{const} + O(t/\tau), w(t) \approx \text{const} + O(t/\tau),$$

где поправки лежат за пределами текущей наблюдательной чувствительности. Таким образом, USCR не противоречит имеющимся данным, но предсказывает, что будущие, более точные измерения могут обнаружить ненулевое значение dw/dt .

5. Наблюдательные предсказания

USCR генерирует ряд конкретных, потенциально проверяемых следствий:

1. **Аномалии роста чёрных дыр.** Если чёрные дыры частично «излучают» энергию в вакуум, их эффективный рост должен быть систематически медленнее, чем предсказывают стандартные модели аккреции и слияний. Сравнение масс сверхмассивных чёрных дыр на высоких красных смещениях ($z \sim 6-7$) с локальной популяцией может выявить дефицит массы на уровне $\sim 1-3\%$.
2. **Детектируемая эволюция w .** Будущие миссии, такие как Euclid (ESA) и Roman Space Telescope (NASA), обладая значительно более высокой точностью, смогут измерить $dw/dt \neq 0$ или параметры CPL-модели (w_0, w_a) с достаточной статистической значимостью.
3. **Неинфляционные В-моды поляризации.** Если Вселенная в прошлом уже проходила фазы сжатия (предыдущие циклы «вдоха»), в реликтовом гравитационно-волновом фоне могут присутствовать вихревые моды поляризации, отличающиеся от предсказаний стандартной медленной инфляции. Их поиск является одной из целей экспериментов BICEP Array и LiteBIRD.

6. Заключение

Гипотеза сверхмедленной космологической переработки (USCR) не претендует на замену проверенной модели Λ CDM в инженерных космологических расчётах. Она представляет собой **метафизическое и концептуальное расширение**, призванное решить проблему происхождения и величины космологической постоянной путём замены статичного «чуда» на динамический, хотя и невообразимо медленный, физический процесс.

USCR объединяет в единую картину инфляцию, текущее ускоренное расширение, проблему тонкой настройки Λ и эволюцию чёрных дыр, сводя их к разным фазам одного глобального цикла. Ключевым выводом работы является демонстрация того, что ускоренное расширение не препятствует реализации столь длительных циклов: гравитационная связанность галактик и чёрных дыр надёжно защищает «фабрики переработки» от разрушения тёмной энергией.

Гипотеза внутренне согласована, не противоречит имеющимся наблюдательным данным и открывает конкретные направления для будущих наблюдений, способных либо подтвердить, либо опровергнуть предложенный сценарий.

Благодарности

Автор выражает признательность за продуктивные обсуждения, стимулировавшие формулировку данной гипотезы, и сообществу открытой науки за платформы для публикации независимых исследований.

Литература

1. Weinberg, S. The cosmological constant problem. *Rev. Mod. Phys.* **61**, 1 (1989).
2. DESI Collaboration. DESI DR2 results: Measurements of baryon acoustic oscillations and cosmological constraints. *arXiv preprint arXiv:2503.14738* (2025).
3. Farrah, D. et al. Observational Evidence for Cosmological Coupling of Black Holes and its Implications for an Astrophysical Source of Dark Energy. *Astrophys. J.* **944**, L31 (2023).
4. Croker, K. S. et al. DESI dark energy time evolution is recovered by cosmologically coupled black holes. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **10**, 094 (2024).
5. Ahlen, S. P. et al. Positive neutrino masses with DESI DR2 via matter conversion to dark energy. *Phys. Rev. Lett.* **135**, 081003 (2025).
6. Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astron. Astrophys.* **641**, A6 (2020)