

# Новая космологическая модель: Инфляция, управляемая излучением, с локальными причинными горизонтами и перераспределением энергии красного смещения

Я предлагаю космологическую модель, в которой эпоха инфляции управляется давлением излучения, а не скалярным полем инфлатона. Начиная с линейного расширения в эпоху Планка, Вселенная переходит к экспоненциальной инфляции при  $t \approx 10^{22} t_P$ , когда пространство-время растягивается за пределы причинных горизонтов, переопределяя скорость света ( $c$ ) как локально инвариантный параметр. Предполагается, что энергия, теряемая из-за красного смещения фотонов, перераспределяется в давление излучения, тем самым подпитывая инфляцию и обеспечивая сохранение энергии в расширяющейся Вселенной. Локальные области Минковского сохраняют инвариантность  $c$ , решая проблемы горизонта и плоскостности, одновременно согласовывая специальную теорию относительности с космологическим сверхсветовым удалением. Описаны восемь наблюдательных тестов с ожидаемыми сигнатурами в космическом микроволновом фоне (СМВ), гравитационных волнах и крупномасштабной структуре. Текущие данные согласуются с  $\Lambda$ CDM, но не исключают эту модель, оставляя путь открытым для проверки с помощью будущих высокоточных экспериментов.

## 1. Введение

Стандартная космология  $\Lambda$ CDM описывает горячий Большой взрыв в  $t = 0$ , за которым следует краткий период инфляции с  $t \approx 10^{-36}$  с до  $10^{-34}$  с. Эта эпоха управляется скалярным полем «инфлатон», потенциал которого вызывает экспоненциальное расширение ( $a(t) \propto e^{Ht}$ ) [1, 2]. Это решает проблемы горизонта и плоскостности и оставляет отпечатки в космическом микроволновом фоне (СМВ). Несмотря на успех,  $\Lambda$ CDM зависит от спекулятивных компонентов: необнаруженной частицы инфлатона, тонко настроенных потенциальных ландшафтов и допущения кажущегося несохранения энергии из-за красного смещения фотонов.

Я представляю альтернативу, управляемую излучением. Моя модель начинается с линейного расширения, естественно переходит к экспоненциальной инфляции, когда фотоны начинают доминировать, а горизонты разъединяются, и продолжается в современную эпоху ускорения. Три центральных принципа отличают эту модель:

1. **Инфлатон не требуется.** Само давление излучения, усиленное энергией красного смещения, управляет инфляцией.
2. **Сохранение энергии восстановлено.** Энергия, потерянная из-за красного смещения, термодинамически перерабатывается в давление излучения, выполняя работу над расширяющейся Вселенной.
3. **Локальная инвариантность  $c$ .** Внутри каждого причинного участка наблюдатели измеряют одинаковую скорость света, что соответствует постулатам Эйнштейна. Глобально сверхсветовое удаление возникает естественным образом из причинного разъединения.

## 2. Теоретическая основа

### 2.1 Раннее линейное расширение ( $t = 0$ до $t = 10^{20} t_P$ )

В эпоху Планка ( $t = 1 t_P = 5.39 \times 10^{-44}$  с), Вселенная расширяется линейно с масштабным фактором  $a(t) \propto t$ . Ее собственный размер составляет  $R(t) = ct$ , а плотность энергии находится на планковской шкале:

$$\rho \approx 5 \times 10^{96} \text{ кг м}^{-3}.$$

Уравнение Фридмана управляет расширением:

$$H^2 = \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G \rho}{3} - \frac{kc^2}{a^2},$$

где  $H = 1/t$ , а кривизна незначительна. На этом этапе фотоны отсутствуют, поэтому давление излучения еще не вносит вклада.

### 2.2 Начало давления излучения ( $t = 10^{20} t_P$ )

К  $t \sim 10^{20} t_P$  ( $\sim 10^{-36}$  с), образование частиц порождает фотоны в кварк-глюонной плазме при  $T \approx 10^{28}$  К. Появляется давление излучения:

$$P = \frac{1}{3} \rho c^2, \quad \rho = \frac{aT^4}{c^2},$$

где  $a = 7.566 \times 10^{-16} \text{ Дж м}^{-3} \text{ К}^{-4}$ . Это дает  $P \sim 10^{92}$  Па. Хотя это огромно, гравитация все еще доминирует, и расширение остается замедляющимся.

### 2.3 Причинное разъединение и локальная инвариантность $c$ ( $t = 10^{22} t_P$ )

При  $t \approx 10^{22} t_P$  ( $\sim 10^{-34}$  с), радиус Вселенной превышает ее горизонт, подобный горизонту Шварцшильда:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}, \quad M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \quad R = ct.$$

Когда горизонт частиц  $d_p \approx ct$  превышает  $r_s$ , регионы причинно разъединяются.

Внутри каждого горизонта наблюдатели измеряют  $c = 3 \times 10^8$  м/с, что соответствует мысленным экспериментам Эйнштейна с поездом и ракетой. Однако глобально скорости удаления превышают  $c$ , как в стандартной космологии. Я параметризирую это следующим образом:

$$c_{\text{eff}} = c_0 \left( \frac{a_0}{a} \right)^\beta, \quad \beta > 0,$$

что не подразумевает буквального изменения  $c$ , а кодирует его локальность. Таким образом,  $c$  остается инвариантным для любого наблюдателя внутри его причинного горизонта, тогда как глобальное сверхсветовое расширение отражает разъединение, а не нарушение теории относительности.

## 2.4 Перераспределение энергии красного смещения

В  $\Lambda$ CDM энергия фотонов уменьшается по мере растяжения длин волн:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad \lambda \propto a, \quad E \propto a^{-1}.$$

Кажущаяся потеря энергии приписывается расширению, без глобального закона сохранения.

Моя модель решает этот парадокс: энергия, потерянная из-за красного смещения, поглощается на причинных горизонтах и перераспределяется в давление излучения, эффективно выполняя работу над метрикой:

$$\Delta E_{\text{красное смещение}} \rightarrow \Delta P_{\text{излучение}} \cdot V.$$

### 2.4.1 Красное смещение как работа над метрикой

Принцип эквивалентности Эйнштейна отождествляет гравитацию с ускорением. Это дает конкретный способ рассматривать красное смещение не как уничтожение энергии, а как ее преобразование в кинетическую работу.

**Мысленный эксперимент:** Представьте синий лазер, направленный вверх с поверхности планеты. Фотоны поднимаются из гравитационного потенциала и приходят к удаленному наблюдателю с красным смещением. Для наблюдателя каждый фотон кажется менее энергичным. Однако лазер в источнике испытал полную массу-энергию испущенных фотонов: он передал импульс, соответствующий их энергии без смещения и давлению излучения.

Куда делась «потерянная» энергия? Она была вложена в гравитационное поле, выполняя работу, необходимую для поднятия фотонов из потенциальной ямы.

По аналогии, в космологии фотоны, испущенные в ранние времена, теряют энергию из-за космологического красного смещения. Локально область испускания испытывает их полное давление излучения. Но глобально кажущийся дефицит не теряется; он преобразуется в **работу над метрикой** — конкретно, в ускоренное расширение.

$$\Delta E_{\text{фотон}} = W_{\text{расширение}}.$$

## 2.4.2 Термодинамика горизонтов и механизм перераспределения

Опираясь на эту аналогию, я предлагаю, что причинные горизонты выступают в роли посредников энергии красного смещения:

1. **Передача энергии.** Энергия фотонов уменьшается как  $E \propto a^{-1}$ . Вместо исчезновения эта энергия поглощается на горизонтах частиц или причинных границах, подобных Шварцшильду.
2. **Отображение гравитационного красного смещения.** Как гравитационное красное смещение передает энергию в поле, так и космологическое красное смещение передает энергию в расширение метрики.
3. **Термодинамика горизонтов.** Горизонты обладают энтропией ( $S \propto A/4$ ) и температурой (Гиббонс-Хокинг). Энергия смещения вносит вклад в энтропию горизонта, и через термодинамическую гравитационную рамку Падманабхана [3] вновь появляется в виде давления, выполняющего работу над расширением.
4. **Усиление давления.**

$$P = \frac{1}{3} \rho c_{\text{eff}}^2 + \Delta P_{\text{красное смещение}},$$

модифицируя уравнение ускорения:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left( \rho + \frac{3P}{c^2} \right).$$

При  $\Delta P_{\text{красное смещение}} > 0$  расширение ускоряется без обращения к инфлатону.

## 2.4.3 Формальные соображения

Для формализации этого механизма требуется:

- Квантовая теория поля в искривленном пространстве-времени для описания взаимодействий фотон-горизонт.
- Термодинамика горизонтов (эмерджентная гравитация Падманабхана, энтропия Бекенштейна-Хокинга) для моделирования поглощения и повторного излучения энергии.
- Численное моделирование модифицированных динамик Фридмана с  $\Delta P_{\text{красное смещение}}$ .

## 2.5 Современная эпоха

При  $t \approx 2.6 \times 10^{71} t_P$  (13,8 миллиарда лет) температура СМВ составляет  $T = 2.7$  К, а давление излучения уменьшилось до  $P \sim 10^{-31}$  Па. Тем не менее, тот же механизм, опосредованный горизонтами, сохраняется: энергия красного смещения продолжает подпитывать космическое ускорение, внося вклад в поздние динамики, обычно приписываемые темной энергии ( $\Omega_\Lambda \approx 0.7$ ).

### 3. Концептуальные достижения

1. **Инфлатон не требуется.** Инфляция возникает естественным образом из давления излучения, усиленного энергией красного смещения, устраняя необходимость в необнаруженном скалярном поле.
2. **Сохранение энергии восстановлено.** Энергия красного смещения перерабатывается в давление излучения, выравнивая расширение с термодинамическими принципами.
3. **Локальная инвариантность  $c$ .** Постулат Эйнштейна остается в силе внутри причинных участков, тогда как сверхсветовое удаление объясняется разделением горизонтов.

### 4. Наблюдательные тесты и ожидаемые сигнатуры

Я предлагаю восемь наблюдательных тестов, каждый с уникальными сигнатурами, которые могут отличить эту модель от  $\Lambda$ CDM.

#### 4.1 Анизотропии CMB

- **Тест:** Измерение спектра мощности CMB и поляризации в В-режиме с высокой точностью.
- **Ожидаемая сигнатура:** Усиленные мелкомасштабные флуктуации при мультиполях  $l > 1000$ , а также обнаруживаемая поляризация В-режима при  $l < 100$  ( $r \approx 0.05-0.1$ ).

#### 4.2 Плотность энергии излучения, зависящая от красного смещения

- **Тест:** Наблюдение за масштабированием плотности энергии излучения  $\rho_{\text{излучение}}$  с красным смещением.
- **Ожидаемая сигнатура:** При  $z > 1100$   $\rho_{\text{излучение}}$  должна отклоняться от стандартного масштабирования  $\propto a^{-4}$ .

#### 4.3 Фон гравитационных волн (GWB)

- **Тест:** Поиск стохастического фона гравитационных волн из эпохи инфляции.
- **Ожидаемая сигнатура:** Пик при  $\sim 10^{-9}$  Гц с характерной деформацией  $h_c \approx 10^{-15}$ .

#### 4.4 Напряжение Хаббла и позднее ускорение

- **Тест:** Измерение постоянной Хаббла  $H_0$  и уравнения состояния темной энергии  $w$ .
- **Ожидаемая сигнатура:**  $H_0 \approx 70$  км/с/Мпк, с  $w$  между  $-0.8$  и  $0$  при  $z < 1$ .

#### 4.5 Структура на масштабе горизонта

- **Тест:** Картографирование крупномасштабной структуры на 10–100 Мпк.

- **Ожидаемая сигнатура:** Усиленное кластерирование и аномально большие пустоты.

## 4.6 Смещения спектральных линий

- **Тест:** Анализ спектров с высоким красным смещением.
- **Ожидаемая сигнатура:** Расширение или энергетические сдвиги на 0,1–1% при  $z > 5$ .

## 4.7 Термодинамические сигнатуры горизонтов

- **Тест:** Исследование энтропии и потока на космических горизонтах.
- **Ожидаемая сигнатура:** Рост энтропии горизонта  $\Delta S \sim 10^{120} k_B$ .

## 4.8 Первичный нуклеосинтез

- **Тест:** Измерение содержания легких элементов.
- **Ожидаемая сигнатура:** Увеличение на 1–5% для  ${}^4\text{He}$  и уменьшение для дейтерия.

# 5. Сравнение с $\Lambda$ CDM

Характеристика	$\Lambda$ CDM	Модель, управляемая излучением
Движущая сила инфляции	Скалярное поле инфлатона	Давление излучения + энергия красного смещения
Сохранение энергии	Не определено глобально	Термодинамически обеспечивается через горизонты
Скорость света	Глобально инвариантна	Локально инвариантна внутри горизонтов
Проблемы горизонта/плоскостности	Решены инфлатоном	Решены излучением + горизонтами
Темная энергия	Космологическая константа ( $\Lambda$ )	Продолжение механизма излучение-красное смещение
Прогнозы CMB	Стандартный спектр	Усиление мелких масштабов, возможные различия в В-режиме
Напряжение Хаббла	Нерешено	Естественное промежуточное $H_0$
Наблюдательный статус	Поддерживается, но неполный	Согласуется с данными, еще не опровергнута

## 6. Обсуждение

Эта модель переосмысливает инфляцию как термодинамический процесс, присущий излучению, без необходимости спекулятивного инфлатона. Она предоставляет механизм сохранения энергии в расширяющемся пространстве-времени и согласовывает локальные постулаты теории относительности с космическими горизонтами.

Остаются проблемы. Точная динамика перераспределения энергии красного смещения требует дальнейшей математической разработки, а численное моделирование модифицированных уравнений Фридмана необходимо. Наблюдательная дифференциация будет зависеть от будущих миссий (CMB-S4, Euclid, LISA, SKA).

## 7. Заключение

Я представляю космологию, в которой давление излучения, модулируемое причинными горизонтами и энергией красного смещения, управляет как инфляцией, так и текущим расширением. Эта модель исключает необходимость гипотетического инфлатона, восстанавливает термодинамическую согласованность и согласовывает локальную инвариантность с Эйнштейна с космической сверхсветимостью. Текущие данные совместимы с  $\Lambda$ CDM, но предложенные наблюдательные тесты открывают путь к проверке или опровержению.

## Ссылки

[1] Коллаборация Planck, *Результаты Planck 2018. VI. Космологические параметры*, Astron. Astrophys. 641, A6 (2020). [2] Guth, A. H., *Инфляционная Вселенная*, Phys. Rev. D 23, 347 (1981). [3] Padmanabhan, T., *Термодинамические аспекты гравитации: новые взгляды*, Rep. Prog. Phys. 73, 046901 (2010). [4] Коллаборация BICEP2/Keck, *Улучшенные ограничения на первичные гравитационные волны*, Phys. Rev. Lett. 121, 221301 (2018).