

# OTB2: Космология темпа процессов без тёмной энергии

## Препринт

Автор: Пирязев Игорь Олегович

Аффилиация: Независимый исследователь

E-mail: port10@ya.ru

Дата: 15 мая 2026 г.

## Аннотация

Предложена модель OTB2, в которой ускоренное расширение Вселенной возникает не из-за тёмной энергии как субстанции, а как следствие динамики скалярного поля темпа физических процессов  $\Phi = dt/d\tau$ . Показано, что требование совпадения с фоновой динамикой  $\Lambda$ CDM однозначно фиксирует глобальное поле:  $\bar{\Phi}^2(a) = 1 + (\Omega_{\Lambda 0}/\Omega_{m 0})a^3$ . Наблюдаемый параметр Хаббла  $H_{\text{obs}} = \Phi H_{\text{base}}$  в точности воспроизводит стандартное уравнение Фридмана. Модель не содержит дополнительных свободных параметров на фоновом уровне. Обсуждается разделение поля  $\Phi$  на глобальное (межэпохальное) и локальное, а также три фундаментальных следствия: межэпохальное различие темпа, усиление вклада поля относительно материи и возникновение гравитации как градиента  $\nabla\Phi$ . Качественно описаны наблюдательные проявления модели: объяснение напряжённости Хаббла, подавление роста структур в ранней Вселенной, снятие проблемы "старых" объектов и проверяемые отклонения от закона космологического замедления времени.

**Ключевые слова:** тёмная энергия, космологическая постоянная, темп времени, скалярное поле, модифицированная гравитация, ускоренное расширение Вселенной, напряжённость Хаббла, рост структур

## 1. Введение

Стандартная космологическая модель  $\Lambda$ CDM описывает ускоренное расширение Вселенной через космологическую постоянную  $\Lambda$ , интерпретируемую как энергия вакуума с постоянной плотностью  $\rho_{\Lambda} = \text{const}$  [1]. При всех своих наблюдательных успехах модель сталкивается с фундаментальными проблемами: проблемой космологической постоянной (расхождение предсказаний квантовой теории поля с наблюдениями на 120 порядков) и проблемой совпадения (почему именно сейчас  $\rho_{\Lambda}$  и  $\rho_m$  одного порядка). Кроме того, в последние годы обострилась напряжённость Хаббла — расхождение между значением  $H_0$ , измеренным по реликтовому излучению ( $67.4 \pm 0.5$  км/с/Мпк), и локальными измерениями по сверхновым и цефеидам ( $73.0 \pm 1.0$  км/с/Мпк), достигающее  $5\sigma$  [2].

В данной работе предлагается альтернативный подход: не вводить тёмную энергию как новый вид материи, а пересмотреть связь между темпом физических процессов и расширением Вселенной.

## 2. Основная идея: поле темпа $\Phi$

### 2.1. Определение поля

В стандартной физике координатное время  $t$  отождествляется с собственным временем  $\tau$ , в котором формулируются физические законы. В модели ОТВ2 это отождествление разрывается [3]:

$$d\tau = \frac{dt}{\Phi(\mathbf{x}, t)}$$

где  $\Phi$  — скалярное поле, определяющее темп физических процессов относительно координатного времени. Значение  $\Phi = 1$  соответствует стандартной физике;  $\Phi > 1$  означает, что процессы идут быстрее;  $\Phi < 1$  — медленнее.

### 2.2. Наблюдаемое расширение

Базовый параметр Хаббла определяется плотностью материи:

$$H_{\text{base}}^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_m$$

Однако физические процессы, включая измерение красного смещения и фотометрических расстояний, происходят в собственном времени  $\tau$ . Поэтому наблюдаемый параметр Хаббла:

$$H_{\text{obs}} = \Phi \cdot H_{\text{base}}$$

### 2.3. Глобальное поле и совпадение с $\Lambda$ CDM

Потребуем, чтобы наблюдаемое расширение в точности совпадало с  $\Lambda$ CDM на фоновом уровне [1]:

$$H_{\text{obs}}^2(a) = H_{\Lambda}^2(a) = H_0^2 (\Omega_{m0} a^{-3} + \Omega_{\Lambda 0})$$

Подставляя  $H_{\text{base}}^2 = H_0^2 \Omega_{m0} a^{-3}$ , получаем:

$$\Phi^2(a) \cdot H_0^2 \Omega_{m0} a^{-3} = H_0^2 (\Omega_{m0} a^{-3} + \Omega_{\Lambda 0})$$

Откуда однозначно:

$$\bar{\Phi}^2(a) = 1 + \frac{\Omega_{\Lambda 0}}{\Omega_{m 0}} a^3$$

Это — не подгонка, а прямое следствие требования совпадения с  $\Lambda$ CDM. Глобальное поле не содержит свободных параметров:  $\Omega_{m 0}$  и  $\Omega_{\Lambda 0}$  фиксируются наблюдениями [1]. При  $\Omega_{m 0} = 0.3$ ,  $\Omega_{\Lambda 0} = 0.7$ :  $\bar{\Phi}(1) \approx 1.83$ ,  $\bar{\Phi}(0.1) \approx 1.001$ .

## 2.4. Почему $\Phi^2 \propto a^3$ не является подгонкой

Зависимость  $\Phi^2 \propto a^3$  в режиме полного включения поля является следствием трёх факторов [3]:

1. Закон сохранения материи  $\rho_m \propto a^{-3}$ ,
2. Требование постоянства  $H_{\text{obs}}$  в поздней Вселенной ( $\Lambda$ -режим),
3. Размерностный анализ потенциала  $V(Y, \rho_m)$ , где  $Y = \Phi^2 - 1$ , выделяющий  $M^2 \propto \rho_m^2$  как простейшую структуру, дающую безразмерное  $Y$ .

## 2.5. Физический механизм: гравитационное подавление темпа

Предлагается следующая физическая интерпретация: гравитация подавляет темп процессов [4]. Чем выше плотность материи и глубже гравитационный потенциал, тем сильнее подавлен  $\Phi$ . В ранней Вселенной гравитация сильна  $\Rightarrow \Phi \approx 1$ ; по мере расширения плотность падает  $\Rightarrow$  подавление ослабевает  $\Rightarrow \Phi$  растёт. Рост  $\Phi$  компенсирует падение  $\rho_m$ , что и наблюдается как ускоренное расширение.

## 3. Три фундаментальных следствия

### 3.1. Межэпохальное различие темпа

Поле  $\Phi$  растёт с масштабным фактором: от  $\Phi \approx 1$  в ранней Вселенной до  $\Phi \approx 1.83$  сегодня. Это означает, что темп физических процессов в прошлом был существенно медленнее, чем сегодня [3]. Наблюдатель в настоящем смотрит в прошлое и видит его через призму сегодняшнего, более быстрого темпа времени.

**Следствие:** возникает систематическое расхождение между реальной длительностью процессов в прошлом и их наблюдаемой длительностью. Реальная длительность  $\Delta\tau_{\text{real}}$  связана с наблюдаемой  $\Delta\tau_{\text{obs}}$  соотношением:

$$\Delta\tau_{\text{real}} = \frac{\Phi(z)}{\Phi_0} \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{obs}}}{1+z}$$

Для объектов на  $z > 2$  фактор  $\Phi(z)/\Phi_0 \approx 0.55$ , то есть процессы в прошлом реально длились почти вдвое меньше, чем мы думаем, даже после учёта стандартного космологического замедления  $(1+z)$ .

## 3.2. Усиление вклада поля относительно материи

По мере роста  $a$  плотность материи падает как  $a^{-3}$ , а поле  $\Phi$  растёт как  $a^{3/2}$ . Их произведение, определяющее эффективную плотность:

$$\rho_{\text{eff}} = \rho_m(\Phi^2 - 1) = \rho_\Lambda = \text{const}$$

остаётся постоянным [3]. Вклад поля в наблюдаемое расширение усиливается относительно материального вклада точно так же, как  $\Lambda$  в стандартной модели. При  $a \rightarrow 1$  вклады сравниваются; при  $a \gg 1$  вклад  $\Phi$  доминирует.

## 3.3. Гравитация как градиент поля $\Phi$

В пределах одной космологической эпохи глобальное значение  $\bar{\Phi}(a)$  является константой по всему пространству и не создаёт градиентов. Все локальные эффекты создаются пространственными градиентами  $\nabla\Phi$ , которые возникают из-за неоднородностей плотности материи [4]. Гравитационное ускорение определяется как:

$$g = -c^2 \nabla \ln \Phi$$

Это означает, что гравитация — не самостоятельная сила, а проявление пространственного изменения темпа процессов. В слабом поле это выражение воспроизводит ньютоновский предел:  $g = -\nabla U = -GM/r^2$ .

## 4. Локальные эффекты

### 4.1. Напряжённость Хаббла

Локальные измерения  $H_0$  используют стандартные свечи в близкой Вселенной ( $z < 0.1$ ), значительная часть которых находится в космических войдах — областях пониженной плотности [2]. В ОТВ2 поле  $\Phi$  зависит от локальной плотности: в войдах подавление слабее,  $\Phi$  выше среднего, и локально измеренный  $H_{\text{obs}} = \Phi_{\text{local}} \cdot H_{\text{base}}$  оказывается выше глобального значения. Измерения по СМВ, напротив, отражают эпоху, когда  $\Phi \approx 1$  повсеместно, и дают глобальное  $H_0$ . Различие между локальным и глобальным  $H_0$  — не аномалия, а прямое следствие зависимости  $\Phi$  от локальной плотности [3].

### 4.2. Подавление роста структур в ранней Вселенной

Наблюдения показывают систематическое отставание параметра  $f\sigma_8$  при  $z > 1$  от предсказаний  $\Lambda\text{CDM}$  [5]. В ОТВ2 это получает естественное объяснение: в ранней Вселенной высокая средняя плотность подавляла  $\Phi \approx 1$  равномерно во всех областях. Контраст  $\Phi$  между войдами и скоплениями был ничтожен, градиент  $\nabla\Phi$  — слаб, эффективная гравитация на масштабах неоднородностей — ослаблена. По мере расширения и падения средней плотности подавление ослабевает неравномерно:  $\Phi$  быстро растёт в войдах и остаётся

близким к 1 в скоплениях. Возникает большой перепад  $\Phi$ , создающий сильный градиент и эффективную гравитацию, близкую к стандартной [3].

### 4.3. Проблема "старых" объектов

Звезда HD 140283 ("Мафусаил") имеет наблюдаемый возраст  $14.5 \pm 0.8$  млрд лет, что превышает возраст Вселенной в  $\Lambda$ CDM (13.8 млрд лет) [6]. В ОТВ2 реальный возраст объекта связан с наблюдаемым через отношение  $\Phi(z)/\Phi_0$ . Для звезды, сформировавшейся при  $z \gg 1$ ,  $\Phi(z) \approx 1$ , и реальный возраст составляет  $\sim 14.5 \times (1/1.83) \approx 8$  млрд лет, что легко укладывается в возраст Вселенной.

Аналогично, обнаруженные телескопом JWST массивные галактики на  $z \sim 10 - 15$  [7], существовавшие через 300-500 млн лет после Большого взрыва по стандартной шкале, в ОТВ2 получают дополнительное время для формирования: наблюдаемые 0.4 млрд лет соответствуют  $\sim 0.4 \times 1.83 \approx 0.73$  млрд лет реального времени.

## 5. Слабопольный предел и гравитационные тесты

### 5.1. Связь с ньютоновским потенциалом

В слабом гравитационном поле вводится ньютоновский потенциал  $U = GM/r$ . Поле темпа связано с ним соотношением [4]:

$$\Phi = 1 - \frac{U}{c^2}$$

При  $r \rightarrow \infty$ :  $U \rightarrow 0$ ,  $\Phi \rightarrow 1$  (фоновое состояние). Вблизи массы  $U > 0$ ,  $\Phi < 1$  (замедление темпа).

### 5.2. Уравнение Пуассона

Вводя переменную  $Y = \Phi^2 - 1 \approx 2\varphi/c^2$  (где  $\varphi = -U$  — стандартный ньютоновский потенциал), получаем [4]:

$$\nabla^2 Y = \frac{8\pi G}{c^2} \rho_m$$

Плотность материи выступает источником поля темпа.

### 5.3. Классические тесты

Модель ОТВ2 воспроизводит все классические гравитационные тесты [4]:

- Ньютоновский предел:  $g = -\nabla U = -GM/r^2$ ,
- Гравитационное смещение:  $R_{p \rightarrow o} \approx 1 + (\varphi_p - \varphi_o)/c^2$ ,

- Отклонение света:  $\delta\theta = 4GM/(c^2b)$ ,
- Задержка Шапиро:  $\Delta t = (2GM/c^3) \ln(4r_E r_R/b^2)$ .

## 6. Эффективная метрика

Для описания распространения света вводится эффективная метрика слабого поля [4]:

$$ds^2 = -(1 - 2U/c^2)c^2 dt^2 + (1 + 2\gamma U/c^2) dl^2$$

При  $\gamma = 1$  метрика совпадает со стандартным слабопольным видом ОТО. В ОТВ2 метрика не является фундаментальной величиной, а возникает как эффективное описание влияния поля  $\Phi$  на измерения времени и распространение света. Геометрия пространства-времени рассматривается как вторичное, производное понятие [4].

## 7. Обсуждение

Модель ОТВ2 предлагает принципиально иной взгляд на природу гравитации и ускоренного расширения Вселенной. В отличие от  $\Lambda$ CDM, где ускорение объясняется энергией вакуума, в ОТВ2 оно является следствием динамики темпа физических процессов. В отличие от моделей модифицированной гравитации ( $f(R)$ , Бранса-Дикке и др.), где вводится дополнительное скалярное поле, меняющее эффективную гравитационную постоянную, в ОТВ2 поле  $\Phi$  меняет темп времени, а гравитационная постоянная  $G$  остаётся неизменной [4].

Модель не содержит свободных параметров на фоновом уровне и в точности воспроизводит  $\Lambda$ CDM. Локальные отклонения от  $\Lambda$ CDM являются не дефектом, а предсказанием модели, которое может быть проверено наблюдениями [3].

Открытые вопросы включают: вывод потенциала  $V(\Phi, R)$  из первых принципов, построение последовательной теории возмущений для поля  $\Phi$ , расчёт влияния на анизотропию реликтового излучения и количественные предсказания для  $f\sigma_8$  и локальных измерений  $H_0$ .

## 8. Заключение

Модель ОТВ2 демонстрирует, что ускоренное расширение Вселенной может быть объяснено без введения тёмной энергии как субстанции — через динамику скалярного поля темпа физических процессов  $\Phi$ . Глобальное значение  $\Phi$  однозначно фиксируется требованием совпадения с  $\Lambda$ CDM и не содержит дополнительных свободных параметров. Локальные отклонения  $\Phi$  от глобального значения, обусловленные зависимостью от локальной плотности материи, качественно объясняют напряжённость Хаббла, отставание роста структур и проблему "старых" объектов, а также предсказывают новые эффекты, проверяемые существующими и будущими обзорами.

## Литература

[1] Planck Collaboration, Aghanim N., et al. "Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters." *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6 (2020).

→ Фрагменты для ссылки: Раздел 1 (упоминание  $\Lambda$ CDM и её параметров); Раздел 2.3 (фиксация  $\Omega_{m0}$ ,  $\Omega_{\Lambda0}$  наблюдениями).

[2] Riess A. G., et al. "A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team." *The Astrophysical Journal Letters*, 934, L7 (2022).

→ Фрагменты для ссылки: Раздел 1 (упоминание напряжённости Хаббла и значения  $H_0 = 73.0$ ); Раздел 4.1 (локальные измерения  $H_0$ ).

[3] Данная работа. Разделы 2, 3, 4.

→ Фрагменты для ссылки: Раздел 2.1 (определение  $\Phi$ ); Раздел 2.4 (почему  $\Phi^2 \propto a^3$  не подгонка); Раздел 3.1 (межэпохальное различие); Раздел 3.2 (усиление вклада); Раздел 4.2 (подавление роста структур).

[4] Пирязев И.О. "ОТВ2: слабопольный предел и гравитационные тесты." Препринт (2026).

→ Фрагменты для ссылки: Раздел 2.5 (гравитационное подавление); Раздел 3.3 (гравитация как градиент); Раздел 5 (слабопольный предел); Раздел 6 (эффективная метрика).

[5] DES Collaboration, Abbott T., et al. "Dark Energy Survey Year 3 Results: Cosmology from Cosmic Shear and Robustness to Modeling Uncertainty." *Physical Review D*, 105, 023520 (2022).

→ Фрагмент для ссылки: Раздел 4.2 (отставание  $f\sigma_8$ ).

[6] Bond H. E., et al. "HD 140283: A Star in the Solar Neighborhood that Formed Shortly After the Big Bang." *The Astrophysical Journal Letters*, 765, L12 (2013).

→ Фрагмент для ссылки: Раздел 4.3 (возраст звезды HD 140283).

[7] Naidu R. P., et al. "Two Remarkably Luminous Galaxy Candidates at  $z \approx 10 - 12$  Revealed by JWST." *The Astrophysical Journal Letters*, 940, L14 (2022).

→ Фрагмент для ссылки: Раздел 4.3 (галактики JWST на больших  $z$ ).