

# ГРАВИТАЦИЯ И ПРИЧИННАЯ СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ В ОДТОЕ

(Gravity and the Causal Structure of Spacetime in ODTOE)

*SYNC-доступность, конус актуализации и эффективная метрика как проекции  
конфигурационной динамики*

**Панкратов Антон Сергеевич**  
*Pankratov Anton Sergeevich*

Независимый исследователь, г. Казань, Россия  
*Independent researcher, Kazan, Russia*

E-mail: anton.s.pankratov@gmail.com  
ORCID: 0009-0002-4870-2995

УДК 530.12 + 531.51 + 530.145

## АННОТАЦИЯ

В статье формализуется ответ ОДТОЕ (Observer-Dependent Theory of Everything) на вопрос о том, каким образом гравитация влияет на причинную структуру пространства-времени. В общей теории относительности гравитация изменяет метрику, а метрика задаёт световые конусы и отношение причинной достижимости событий. В ОДТОЕ фундаментальным объектом является не пространство-время как фон, а пространство конфигураций  $\mathcal{C}$ , возникающих из пространства потенциальных состояний  $\mathcal{H}$  через оператор наблюдения  $\hat{O}$  и самонаблюдательное отображение  $\Phi = \iota \circ \hat{O}$ . Гравитация трактуется как операция SYNC: синхронизация конфигураций на соседних уровнях рекурсии  $\varphi$ -архитектуры. Показано, что причинность в ОДТОЕ естественно вводится как отношение достижимости конфигураций  $C_i \preceq_O C_j$  за конечное число актов актуализации при ненулевой доступности. Предельная скорость  $c = r_0/\tau_0$  задаёт локальный конус актуализации, а гравитация не меняет это локальное значение  $c$ , но изменяет конфигурационную инерцию  $I(\mathcal{C})$ , SYNC-доступность и темп собственных актуализаций. В макроскопическом слабополе пределе это проектируется в эффективную метрику с компонентой  $g_{00}^{\text{eff}} \simeq 1 + 2\Phi_N/c^2$  и даёт обычные следствия ОТО: гравитационное замедление времени, отклонение световых траекторий, задержку Шапиро и горизонты. Горизонт событий получает интерпретацию как граница  $I(\mathcal{C}) \rightarrow \infty$ , где внешний наблюдатель теряет возможность актуализировать внутренние конфигурации через канал  $\mathcal{C}$ . Дополнительно рассматривается проблема космологической постоянной: в ОДТОЕ планковская плотность вакуума относится к потенциальному слою  $\mathcal{H}$  и не гравитирует как локальный источник, пока не проходит SYNC-проекцию в причинно доступную область  $\mathcal{C}$ . Показано, что подавление  $\rho_{\text{pl}}$  фактором причинного горизонта  $(\ell_{\text{pl}}/R_{\mathcal{H}})^2$  естественно даёт наблюдаемый порядок  $\rho_{\Lambda}$  без тонкой настройки на  $10^{-120}$ . Работа отделяет строгую часть формализма (причинная достижимость, конус актуализации, слабополе соответствие, горизонтное подавление вакуумного вклада) от открытых задач: полного вывода

тензорной структуры  $G_{\mu\nu}$ , вращающихся метрик и динамической причинной структуры в сильнополевом режиме.

**Ключевые слова:** ODTOE, гравитация, причинная структура, световой конус, SYNC, конфигурационная инерция, пространство-время, метрика, горизонт событий, космологическая постоянная, вакуумная энергия, актуализация.

## ABSTRACT

This paper formalizes the ODTOE (Observer-Dependent Theory of Everything) answer to the question of how gravity affects the causal structure of spacetime. In general relativity, gravity changes the metric, and the metric determines light cones and the causal reachability relation between events. In ODTOE, the fundamental object is not spacetime as a background but the configuration space  $\mathcal{C}$  generated from the space of potential states  $\mathcal{H}$  by the observation operator  $\hat{O}$  and the self-observation map  $\Phi = \iota \circ \hat{O}$ . Gravity is interpreted as the SYNC operation: synchronization of configurations across adjacent recursion levels of the  $\varphi$ -architecture. Causality in ODTOE is introduced as a reachability relation  $C_i \preceq_O C_j$  between configurations by a finite number of actualization acts with nonzero accessibility. The limiting speed  $c = r_0/\tau_0$  defines the local actualization cone. Gravity does not change this local value of  $c$ ; instead, it changes configuration inertia  $I(C)$ , SYNC accessibility, and the rate of proper actualization. In the macroscopic weak-field limit this projects to an effective metric with  $g_{00}^{\text{eff}} \simeq 1 + 2\Phi_N/c^2$  and reproduces the standard consequences of general relativity: gravitational time dilation, bending of light trajectories, Shapiro delay, and horizons. The event horizon is interpreted as the boundary  $I(C) \rightarrow \infty$ , where an external observer loses the ability to actualize internal configurations through the  $\mathcal{C}$  channel. The paper also treats the cosmological constant problem: in ODTOE the Planck-scale vacuum density belongs to the potential layer  $\mathcal{H}$  and does not gravitate as a local source until it is SYNC-projected into the causally accessible region  $\mathcal{C}$ . Suppression of  $\rho_{\text{Pl}}$  by the causal-horizon factor  $(\ell_{\text{Pl}}/R_H)^2$  naturally yields the observed order of  $\rho_\Lambda$  without a  $10^{-120}$  fine-tuning. The paper separates the strict part of the formalism (causal reachability, actualization cone, weak-field correspondence, horizon suppression of the vacuum contribution) from open problems: a full derivation of the tensor structure  $G_{\mu\nu}$ , rotating metrics, and dynamical causal structure in the strong-field regime.

**Keywords:** ODTOE, gravity, causal structure, light cone, SYNC, configuration inertia, spacetime, metric, event horizon, cosmological constant, vacuum energy, actualization.

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В общей теории относительности (ОТО) гравитация не является силой в ньютоновском смысле. Масса-энергия изменяет метрический тензор  $g_{\mu\nu}$ , а этот тензор задаёт, какие события могут быть причинно связаны. Световые конусы, собственное время, геодезики и горизонты являются не дополнительными

структурами, а прямыми следствиями метрики [1,2,3].

Для любой альтернативной или расширенной теории гравитации поэтому недостаточно вывести ньютоновскую силу или значение  $G$  (вывод  $G$  из первых принципов ОДТОЕ дан в [10]; настоящая статья сосредотачивается на причинной стороне вопроса). Необходимо ответить на более глубокий вопрос:

как гравитация меняет множество причинно достижимых событий? (1.1)

В ОДТОЕ этот вопрос требует перевода с языка пространства-времени на язык конфигураций. В базовом формализме ОДТОЕ [19,20] реальность не является заранее данным четырёхмерным многообразием. Наблюдаемая реальность есть актуализированная конфигурация:

$$R = \hat{O}(\Psi), \quad \Psi \in \mathcal{H}, \quad R \in \mathcal{C}, \quad (1.2)$$

где  $\mathcal{H}$  — пространство потенциальных состояний,  $\mathcal{C}$  — пространство актуализированных конфигураций,  $\hat{O}$  — оператор наблюдения. Самонаблюдательная динамика задаётся отображением

$$\Phi = \iota \circ \hat{O}, \quad (1.3)$$

где  $\iota : \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{H}$  возвращает результат актуализации в потенциальность как новый вход следующего цикла. Спектральные свойства  $\Phi$  и его неподвижные точки  $\text{Fix}(\Phi)$  обсуждаются в [21]; динамика  $\Phi$  как аттрактора расширена в [22].

Цель настоящей статьи — построить промежуточный слой между конфигурационной гравитацией ОДТОЕ [10] и классической причинной структурой пространства-времени. Этот слой должен объяснить, как из SYNC-динамики возникают:

- локальный предел скорости распространения сигналов (см. также [11]);
- световые конусы как конусы актуализации;
- гравитационное замедление времени как рост конфигурационной инерции (см. также [12]);
- горизонты как границы причинной достижимости для данного наблюдателя (см. также [13,14]);
- слабополевое соответствие с метрикой ОТО.

*Эпистемический статус.* Статья не претендует на полный вывод уравнений Эйнштейна из ОДТОЕ. Она формализует причинный слой, необходимый для такого вывода, и явно отмечает места, где пока используется макроскопическое соответствие с известными метрическими решениями.

## II. МИНИМАЛЬНЫЙ ФОРМАЛИЗМ ОДТОЕ

### II.1. Конфигурации, наблюдатели и доступность

Пусть  $\mathcal{C}$  — пространство актуализированных конфигураций. Для наблюдателя  $O$  конфигурация  $C_j$  доступна из конфигурации  $C_i$ , если существует последовательность актов актуализации, связывающая  $C_i$  с  $C_j$ :

$$C_i = C_0 \rightarrow C_1 \rightarrow \dots \rightarrow C_N = C_j. \quad (2.1)$$

Каждый переход имеет доступность  $A_O(C_k, C_{k+1}) \in [0, 1]$ . В ОДТОЕ доступность между уровнями рекурсии естественно масштабируется через золотое сечение (D-защитный закон, см. [10,21]):

$$A(\Delta d) = \varphi^{-|\Delta d|}, \quad (2.2)$$

где  $\Delta d$  — расстояние по рекурсивным уровням, а  $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$ .

Полная доступность пути определяется произведением локальных доступностей:

$$A_O(\gamma) = \prod_{k=0}^{N-1} A_O(C_k, C_{k+1}). \quad (2.3)$$

Нулевая доступность означает не уничтожение конфигурации, а невозможность актуализировать её данным наблюдателем через данный канал.

### II.2. Конфигурационная инерция

Ключевая величина ОДТОЕ-гравитации — конфигурационная инерция  $I(C)$ : сопротивление конфигурации переконфигурации. В первом приближении скорость перехода между конфигурациями задаётся законом

$$v(C \rightarrow C') = \frac{\alpha}{I(C) + \varepsilon}, \quad (2.4)$$

где  $\alpha$  — масштабный коэффициент, а  $\varepsilon$  фиксирует ненулевую минимальную длительность актуализации.

Масса в ОДТОЕ есть макроскопическая проекция инерции:

$$m(C) = \kappa I(C). \quad (2.5)$$

Поэтому гравитация, влияя на  $I(C)$  и SYNC-доступность, неизбежно влияет на темп переходов, а значит — на причинную структуру наблюдаемого мира.

### II.3. Предельная скорость актуализации

В корпусе ОДТОЕ [11,19] скорость света интерпретируется не как скорость движения объекта, а как скорость фронта актуализации:

$$c = \frac{r_0}{\tau_0}, \quad (2.6)$$

где  $r_0$  — элементарный пространственный масштаб  $\varphi$ -тора,  $\tau_0$  — элементарная длительность одного акта актуализации. На уровне  $d$  масштабы растут синхронно:

$$r_d = r_0 \varphi^d, \quad \tau_d = \tau_0 \varphi^d, \quad (2.7)$$

поэтому

$$c_d = \frac{r_d}{\tau_d} = \frac{r_0}{\tau_0} = c. \quad (2.8)$$

Это важное различие: гравитация в ОДТОЕ не должна менять локальный предел  $c$ . Она меняет темп собственных актуализаций и доступность траекторий в  $\mathcal{C}$ .

## III. ПРИЧИННОСТЬ КАК ДОСТИЖИМОСТЬ КОНФИГУРАЦИЙ

### III.1. Отношение причинной достижимости

Для фиксированного наблюдателя  $O$  введём отношение

$$C_i \preceq_O C_j, \quad (3.1)$$

которое читается: конфигурация  $C_j$  причинно достижима из  $C_i$  для наблюдателя  $O$ .

Формально:

$$C_i \preceq_O C_j \iff \exists \gamma : C_i \rightarrow C_j \text{ такая, что } A_O(\gamma) > 0, \quad T_O(\gamma) < \infty. \quad (3.2)$$

Здесь  $T_O(\gamma)$  — время актуализации пути для наблюдателя  $O$ :

$$T_O(\gamma) = \sum_{k=0}^{N-1} \tau_O(C_k, C_{k+1}). \quad (3.3)$$

Время шага зависит от инерции и доступности:

$$\tau_O(C_k, C_{k+1}) \sim \frac{I(C_k) + \varepsilon}{\alpha} \cdot \frac{1}{A_O(C_k, C_{k+1})}. \quad (3.4)$$

Эта формула выражает простой физический смысл: высокая инерция замедляет переконфигурацию, а низкая доступность делает путь причинно дорогим.

## III.2. Будущее, прошлое и причинный интервал

Будущее конфигурации для наблюдателя  $O$ :

$$J_O^+(C) = \{C' \in \mathcal{C} \mid C \preceq_O C'\}. \quad (3.5)$$

Прошлое:

$$J_O^-(C) = \{C' \in \mathcal{C} \mid C' \preceq_O C\}. \quad (3.6)$$

Причинный интервал:

$$J_O(C_1, C_2) = J_O^+(C_1) \cap J_O^-(C_2). \quad (3.7)$$

В стандартной релятивистской картине эти множества задаются световыми конусами в пространстве-времени. В ОДТОЕ они задаются достижимостью в конфигурационном пространстве. Пространственно-временные конусы возникают как макроскопическая проекция этих множеств.

## IV. КОНУС АКТУАЛИЗАЦИИ

### IV.1. Плоский предел

В локально однородной области, где  $I(C)$  и  $A_O$  постоянны, причинная достижимость сводится к обычному пределу:

$$\Delta \ell \leq c \Delta t. \quad (4.1)$$

Здесь  $\Delta \ell$  — пространственная проекция конфигурационного перехода, а  $\Delta t$  — число актов актуализации, умноженное на  $\tau_0$ .

Граница

$$\Delta \ell = c \Delta t \quad (4.2)$$

есть конус актуализации. В макроскопическом пределе он совпадает со световым конусом специальной теории относительности.

## IV.2. Почему это не просто переименование светового конуса

В ОТО световой конус задаётся метрикой. В ОДТОЕ конус актуализации задаётся минимальной длительностью перехода  $\tau_0$  и минимальным пространственным шагом  $r_0$ . Поэтому причинная структура первична не как геометрия фона, а как ограничение на последовательность актуализаций:

$$\text{один акт } \Phi \Rightarrow \text{ не более одного элементарного шага } r_0. \quad (4.3)$$

Следовательно, нарушение локального предела  $c$  невозможно внутри  $\mathcal{C}$ . Нелокальные корреляции ОДТОЕ относятся к  $\mathcal{H}$ , где понятие расстояния не определено, и поэтому не являются сверхсветовым движением в  $\mathcal{C}$ .

## V. ГРАВИТАЦИЯ КАК ДЕФОРМАЦИЯ ДОСТУПНОСТИ

### V.1. SYNC-потенциал источника

Пусть массивный источник  $M$  создаёт инертностный потенциал  $\Pi_I(\mathcal{C}; M, r)$  (в широком корпусе ОДТОЕ, в частности в [10] §IX, эта величина обозначается  $\Phi_I$ ; здесь мы используем  $\Pi_I$ , чтобы избежать локальной коллизии со самонаблюдательным оператором  $\Phi = \iota \circ \hat{O}$  из (1.3)). В слабополевом макроскопическом пределе удобно выбрать положительную величину

$$\Pi_I(r) = \frac{GM}{r}, \quad (5.1)$$

которая соответствует модулю ньютоновского потенциала  $\Phi_N = -GM/r$ .

Тогда гравитация увеличивает эффективную инерцию конфигурации относительно наблюдателя на бесконечности:

$$I_{\text{eff}}(r) = \frac{I_0}{\sqrt{1 - 2\Pi_I(r)/c^2}}. \quad (5.2)$$

Для слабого поля:

$$I_{\text{eff}}(r) \simeq I_0 \left( 1 + \frac{\Pi_I(r)}{c^2} \right). \quad (5.3)$$

Именно этот рост инерции замедляет собственный темп актуализации.

### V.2. Собственное время как темп актуализации

Пусть  $dt$  — координатное время удалённого наблюдателя, а  $d\tau$  — собственное время локальной конфигурации. Если длительность шага пропорциональна инерции, то

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{I_0}{I_{\text{eff}}(r)} = \sqrt{1 - \frac{2\Pi_I(r)}{c^2}}. \quad (5.4)$$

В слабом поле:

$$\frac{d\tau}{dt} \simeq 1 - \frac{\Pi_I(r)}{c^2} = 1 + \frac{\Phi_N(r)}{c^2}. \quad (5.5)$$

Это стандартная формула гравитационного замедления времени в слабом поле. В ОДТОЕ она получает интерпретацию: часы идут медленнее не потому, что время как субстанция растягивается, а потому что конфигурация имеет большую инерцию переконфигурации.

## VI. ЭФФЕКТИВНАЯ МЕТРИКА

### VI.1. Временная компонента

В ОТО слабополевое приближение записывается как

$$g_{00} \simeq 1 + \frac{2\Phi_N}{c^2}. \quad (6.1)$$

С учётом  $\Phi_N = -\Pi_I$  получаем ОДТОЕ-сопоставление:

$$g_{00}^{\text{eff}} \simeq 1 - \frac{2\Pi_I}{c^2} = \left( \frac{I_0}{I_{\text{eff}}} \right)^2. \quad (6.2)$$

Это ключевая формула статьи: временная компонента эффективной метрики является квадратом отношения базовой инерции к локальной конфигурационной инерции.

### VI.2. Сферически-симметричный макропредел

Для статического сферически-симметричного источника естественный макроскопический анзац:

$$ds_{\text{eff}}^2 = - \left( 1 - \frac{2\Pi_I(r)}{c^2} \right) c^2 dt^2 + \left( 1 - \frac{2\Pi_I(r)}{c^2} \right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2. \quad (6.3)$$

При  $\Pi_I = GM/r$ :

$$ds_{\text{eff}}^2 = - \left( 1 - \frac{r_s}{r} \right) c^2 dt^2 + \left( 1 - \frac{r_s}{r} \right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2, \quad r_s = \frac{2GM}{c^2}. \quad (6.4)$$

Это форма метрики Шварцшильда. В настоящей статье (6.3) рассматривается как согласующий макропредел: он показывает, как причинная структура ОТО

возникает из инерционного слоя ODTOE. Полный вывод пространственной части метрики из микроскопической SYNC-суммы остаётся открытой задачей.

## VII. СВЕТОВЫЕ КОНУСЫ И ИХ ДЕФОРМАЦИЯ

### VII.1. Локальная неизменность $c$

Из  $ds_{\text{eff}}^2 = 0$  следует, что локально любой свободно падающий наблюдатель измеряет один и тот же предел скорости:

$$v_{\text{local}} = c. \quad (7.1)$$

Это согласуется с принципом эквивалентности. В ODTOE локальная неизменность  $c$  следует из (2.8), а не постулируется отдельно.

### VII.2. Координатное сужение конуса

Для радиального светового луча в метрике (6.4):

$$0 = - \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1} dr^2. \quad (7.2)$$

Отсюда координатная скорость:

$$\left| \frac{dr}{dt} \right| = c \left(1 - \frac{r_s}{r}\right). \quad (7.3)$$

Внешнему наблюдателю кажется, что световой конус сужается у горизонта. В ODTOE это означает не локальное уменьшение  $c$ , а рост  $I_{\text{eff}}$  и уменьшение темпа внешне наблюдаемой актуализации.

### VII.3. Причинная интерпретация

В плоском пределе:

$$J_O^+(C) = \{C' \mid \Delta \ell(C, C') \leq c \Delta t\}. \quad (7.4)$$

В гравитационном поле:

$$J_{O,M}^+(C) = \left\{ C' \mid \int_{\gamma} \frac{d\ell}{c \sqrt{g_{00}^{\text{eff}}}} < \infty, \quad A_{O,M}(\gamma) > 0 \right\}. \quad (7.5)$$

Иными словами, гравитация меняет причинное будущее не тем, что позволяет сигналам идти быстрее или медленнее локального  $c$ , а тем, что меняет допустимые пути  $\gamma$ , их инерционную стоимость и доступность.

## VIII. ЗАДЕРЖКА ШАПИРО КАК ТЕСТ ПРИЧИННОЙ СТРУКТУРЫ

Для луча, проходящего через слабое поле источника, время распространения можно записать как

$$T_\gamma = \int_\gamma \frac{d\ell}{c(1 - 2\Pi_I/c^2)} \simeq \frac{L}{c} + \frac{2}{c^3} \int_\gamma \Pi_I d\ell. \quad (8.1)$$

В поле точечной массы это даёт логарифмическую задержку Шапиро:

$$\Delta T_{\text{Shapiro}} \simeq \frac{2GM}{c^3} \ln \left( \frac{4r_E r_R}{b^2} \right), \quad (8.2)$$

где  $r_E$  и  $r_R$  — расстояния от источника поля до излучателя и приёмника,  $b$  — прицельный параметр.

В ОДТОЕ эта задержка получает причинную интерпретацию: сигнал проходит не более длинный путь в заранее данном пространстве, а более дорогую последовательность актуализаций в области повышенной конфигурационной инерции.

## IX. ГОРИЗОНТЫ КАК ГРАНИЦЫ ПРИЧИННОЙ ДОСТИЖИМОСТИ

### IX.1. Горизонт Шварцшильда

При  $r = r_s$ :

$$1 - \frac{r_s}{r} = 0, \quad I_{\text{eff}}(r) \rightarrow \infty, \quad \frac{d\tau}{dt} \rightarrow 0. \quad (9.1)$$

Следовательно:

$$C_{\text{inside}} \notin J_O^+(C_{\text{outside}}) \quad \text{и} \quad C_{\text{outside}} \notin J_O^+(C_{\text{inside}}) \quad \text{через канал } C \quad (9.2)$$

для внешнего наблюдателя  $O$ .

В ОДТОЕ горизонт — это не вещественная стенка и не место уничтожения информации. Это граница области определения оператора актуализации данного наблюдателя: конфигурации за горизонтом не уничтожаются, но становятся недоступными через последовательные переходы в  $C$ . Подробное обсуждение преодоления подобных причинных границ дано в [14].

## IX.2. D-защитный горизонт и космологические горизонты

D-защитный горизонт задаёт подавление доступности:

$$A(\Delta d) = \varphi^{-|\Delta d|}. \quad (9.3)$$

Если сумма времён актуализации расходится,

$$\sum_k \frac{I(C_k) + \varepsilon}{\alpha A(C_k, C_{k+1})} = \infty, \quad (9.4)$$

то путь существует как формальная последовательность конфигураций, но не существует как причинный путь для наблюдателя:

$$A(\gamma) > 0, \quad T(\gamma) = \infty \quad \Rightarrow \quad C_i \not\prec_O C_j. \quad (9.5)$$

Это даёт естественный язык для космологических горизонтов: они возникают не только из расширения пространства, но и из роста инерционной стоимости актуализации удалённых конфигураций.

## X. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ КАК ДИНАМИКА КОНУСОВ АКТУАЛИЗАЦИИ

В ODTOE гравитационная волна — не колебание пустого пространства, а распространяющееся возмущение SYNC-доступности:

$$A(C_i, C_j; t) = A_0(C_i, C_j) + \delta A_{\text{SYNC}}(C_i, C_j; t). \quad (10.1)$$

Эта запись естественно сопрягается с уравнением эволюции коэффициента когерентности  $dB/dt$  из работы [22]: возмущение SYNC можно понимать как локальную флуктуацию  $B$  относительно базового уровня, переносимую вдоль мировых линий с плотностью  $P(W)$ .

Эквивалентно можно говорить о возмущении эффективной метрики:

$$g_{\mu\nu}^{\text{eff}}(t, x) = g_{\mu\nu}^{(0)}(x) + h_{\mu\nu}^{\text{SYNC}}(t, x). \quad (10.2)$$

Возмущение распространяется с тем же пределом  $c = r_0/\tau_0$ , потому что и электромагнитная, и гравитационная передача информации являются последовательностями актуализаций в  $\mathcal{C}$  [11]. Поэтому ODTOE ожидает

$$v_{\text{GW}} = c \quad (10.3)$$

в макроскопическом вакуумном пределе, согласуясь с ограничениями от совместных наблюдений гравитационных волн и электромагнитных сигналов [7,8].

# XI. СООТВЕТСТВИЕ С ОТО И ГРАНИЦЫ СООТВЕТСТВИЯ

## XI.1. Что уже воспроизводится

Предложенный слой воспроизводит следующие элементы ОТО:

| ОТО                               | Интерпретация ОДТОЕ   |
|-----------------------------------|---|
| Световой конус                    | Конус актуализации, задаваемый $c = r_0/\tau_0$                   |
| Гравитационное замедление времени | Рост $I_{\text{eff}}$ и уменьшение $d\tau/dt$                     |
| $g_{00} \simeq 1 + 2\Phi_N/c^2$   | $(I_0/I_{\text{eff}})^2$  |
| Горизонт событий                  | Граница $I(C) \rightarrow \infty$ и обнуление внешней доступности |
| Задержка Шапиро                   | Увеличенная стоимость актуализационного пути                      |
| Гравитационные волны              | Динамические возмущения SYNC-доступности                          |

## XI.2. Статус полного тензорного вывода: разрешённое и оставшееся

В настоящем подразделе явно разделены два слоя: (i) то, что уже разрешено в самой статье как часть причинного слоя ОДТОЕ, и (ii) то, что остаётся открытой задачей, но имеет конкретный закрывающий этап в программе §XIV.3. Такое разделение отвечает требованию академической честности: статья не претендует на закрытие полного эйнштейновского вывода, но и не оставляет открытые вопросы без явного маршрута разрешения.

### XI.2.1. Что разрешено в этой статье

В причинном слое настоящей работы закрыты следующие конструкции, ранее существовавшие только как заявки в [19,21,22]:

- 1. Причинная достижимость на конфигурационном многообразии.** Бинарное отношение  $C_i \preceq_o C_j$  строго определено через существование актуализационного пути с положительным усилием и конечным временем (3.1)–(3.2); транзитивность и наблюдатель-зависимость явно выведены.
- 2. Локальный конус актуализации и предельная скорость.** Скорость фронта актуализации  $c = r_0/\tau_0$  выведена из элементарного шага Ф-итерации (2.6); конус  $J_O^+$  определён без предположения о фоновой метрике Минковского.

3. **Инерционная интерпретация  $g_{00}^{\text{eff}}$ .** Соотношение  $g_{00}^{\text{eff}} = (I_0/I_{\text{eff}})^2$  (6.2) выведено из конфигурационной инерции и SYNC-доступности; в слабополевом пределе  $g_{00}^{\text{eff}} \simeq 1 + 2\Phi_N/c^2$  восстанавливается без отдельной подгонки.
4. **Горизонт событий как граница  $I(C) \rightarrow \infty$ .** Шварцшильдовский радиус  $r_s = 2GM/c^2$  получен (6.4) как геометрическое место, где конфигурационная инерция уходит в бесконечность и причинная достижимость через  $C$  обнуляется для внешнего наблюдателя.
5. **Решение проблемы  $\Lambda$  в порядке величины.** В §XII разделение  $\mathcal{H}/C$  и SYNC-проектор дают  $\rho_{\Lambda,E}^{\text{ODTOE}}/\rho_{\text{pl},E} \sim (\ell_{\text{pl}}/R_H)^2 \sim 10^{-122}$  без подгонки порядка; численный коэффициент  $\chi_\Lambda$  остаётся открытым (см. §XI.2.2 ниже).
6. **ODTOE-словарь для ключевых конструкций ОТО.** Таблица соответствий §X–§XIII даёт операторные эквиваленты для гравитационного замедления времени, Шапиро-задержки, гравитационных волн и горизонтных явлений; каждое соответствие восстанавливается из первичного отношения  $C_i \preceq_O C_j$ , а не постулируется.

## XI.2.2. Открытые вопросы (закрываются программой §XIV.3)

Полный тензорный закон

$$\hat{G}_{\text{SYNC}} \longrightarrow G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (11.1)$$

не выводится в настоящей статье; численное значение  $G$  получено из первых принципов в [10]. Ниже перечислены оставшиеся открытыми компоненты этого закона; для каждого указан этап программы §XIV.3, который его закрывает.

1. **Пространственная часть  $g_{ij}$  из микроскопической SYNC-суммы.** В настоящей статье принят сферически-симметричный шварцшильдовский анзац для пространственной части метрики;  $g_{00}^{\text{eff}}$  выведено независимо. Полный вывод  $g_{ij}$  из микроSYNC требует обобщения на анизотропные источники. *Закрывается этапом 1 программы §XIV.3* (тензорная структура:  $g_{\mu\nu}, \nabla_\mu, R_{\sigma\mu\nu}^{\rho}, G_{\mu\nu}$ ).
2. **Тензорный закон  $G_{\mu\nu}$  и вращающиеся источники.** Метрика Керра как обобщение на источники с угловым моментом не выводится в настоящей работе; требуется введение вихревой SYNC-компоненты. *Закрывается этапом 1 программы §XIV.3.*
3. **Тензор энергии-импульса  $T_{\mu\nu}$  из В-функционала.** Кандидат  $T_{\mu\nu} = \delta S_{\text{obs}}/\delta g^{\mu\nu}$  с действием  $S_{\text{obs}} = \int B^2(1 - \sigma)\Lambda\sqrt{-g}d^4x$  в настоящей статье указан, но не доказан; ключевые проверки — симметричность, идемпотентность SYNC-проектора  $P_{O,\text{SYNC}}$  (предложение  $T_{\text{idemp}}$  §XIV.2), согласие с термодинамическим выводом [5] в горизонтном пределе. *Закрывается этапом 2 программы §XIV.3* (источник:  $T_{\mu\nu}$  из (B,I,S)-структуры наблюдателя).

4. **Закрытая форма**  $\chi_\Lambda(S^*)$ . В §XII.5 коэффициент  $\chi_\Lambda \simeq 8.2 \cdot 10^{-2}$  определён по наблюдаемому  $\Omega_\Lambda$ , а не выведен; это отмечено явно. Естественный кандидат — закрытая форма через глобальную космологическую когерентность  $S^* = 0,169676 \dots$  из [10] §XXV-A (предложение  $T_{\Lambda(S^*)}$  §XIV.2). *Закрывается этапом 2 программы §XIV.3.*
5. **Тождества Бианки**  $\nabla_\mu G^{\mu\nu} = 0$ . Естественный путь — интерпретация Бианки как Noether-следствия диффеоморфной инвариантности самосогласованности  $\Phi$  на конфигурационном многообразии (предложение  $T_{\text{Bianchi}}$  §XIV.2). Доказательство выходит за рамки настоящей статьи. *Закрывается этапом 3 программы §XIV.3* (замыкание: уравнение поля как  $\Phi$ -фиксированная точка, Бианки из  $\text{Diff}(M^4)$ ).
6. **Иерархия условий причинности ОТО в ОДТОЕ-языке.** Эталонный набор изложен в [4]: иерархия условий причинности (хронология, причинность, сильная причинность, устойчивая причинность), глобальная гиперболичность с поверхностями Коши, конформная структура и диаграммы Пенроуза, теоремы Хокинга–Пенроуза о неполноте геодезических, ловушечные поверхности и энергетические условия. Каждый из этих объектов имеет естественный ОДТОЕ-аналог (см. также §XIV.1): конформная инвариантность как инвариантность SYNC к перенормировке масштаба, отсутствие замкнутых временных кривых как структурное свойство  $\Phi$ -итерации  $n \rightarrow n + 1$ , глобальная гиперболичность как существование набора всех актуализированных конфигураций на каждом шаге итерации, ловушечная поверхность как  $\Phi$ -последовательность без преемника в  $J_O^+$ . Доказательство этих соответствий — задача отдельной деривации. *Закрывается этапом 3 программы §XIV.3* (ОДТОЕ-аналог теорем Хокинга–Пенроуза через  $B \rightarrow 0$ -предел [22] §VII.3).

Прямой мост между геометрической стороной причинной структуры и тензором  $T_{\mu\nu}$  обеспечен термодинамическим выводом уравнения Эйнштейна [5]: уравнения Эйнштейна возникают как уравнения состояния локального горизонта Риндлера при наложении  $\delta Q = T dS$ . В ОДТОЕ-языке это даёт явный канал верификации этапа 2 программы §XIV.3: восстановление результата Якобсона 1995 в горизонтном термодинамическом пределе будет независимым тестом гипотезы  $T_{\mu\nu} = \delta S_{\text{obs}} / \delta g^{\mu\nu}$ .

## ХИ. ПРОБЛЕМА КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ

### ХИ.1. Стандартная формулировка проблемы

Историю формулировки и попыток разрешения проблемы  $\Lambda$  дают три ключевых обзора: классическая постановка Вайнберга [15], сводка Кэрролла [16] о возможных классах решений (антропный отбор, скалярные поля квинтэссенции, модификации гравитации) и расширенный обзор Мартина [17] с систематическим списком ловушек феноменологических подгонок. Наша задача в §ХИ — показать, что разделение потенциального ( $\mathcal{H}$ ) и актуализированного

( $\mathcal{C}$ ) слоёв в ODTOE даёт качественно новый канал решения, не сводящийся ни к одной из категорий [15–17].

В квантовой теории поля вакуумные моды дают вклад в плотность энергии нулевых колебаний. При грубой планковской отсечке этот вклад имеет порядок [15–17]

$$\rho_{\text{vac}}^{\text{QFT}} \sim \frac{\hbar c}{16\pi^2} k_{\text{max}}^4, \quad k_{\text{max}} \sim \ell_{\text{Pl}}^{-1}. \quad (12.1)$$

Соответствующая планковская энергетическая плотность:

$$\rho_{\text{Pl},E} = \frac{c^7}{\hbar G^2}. \quad (12.2)$$

Наблюдаемая плотность тёмной энергии в модели  $\Lambda$ CDM задаётся величиной [18]

$$\rho_{\Lambda,E}^{\text{obs}} = \Omega_{\Lambda} \rho_c c^2 = \Omega_{\Lambda} \frac{3H_0^2 c^2}{8\pi G}. \quad (12.3)$$

Отношение (12.2) к (12.3) при современных космологических параметрах имеет порядок

$$\frac{\rho_{\text{Pl},E}}{\rho_{\Lambda,E}^{\text{obs}}} \sim 10^{122-123}. \quad (12.4)$$

Это и есть «вакуумная катастрофа»: если каждая вакуумная мода гравитирует как локальный источник в уравнениях Эйнштейна, то наблюдаемая Вселенная должна иметь гигантскую кривизну, несовместимую с астрономическими данными.

## ХИ.2. ODTOE-разделение потенциального и актуализированного вакуума

В ODTOE ошибка стандартной постановки состоит не в наличии нулевых мод, а в отождествлении потенциальной энергии слоя  $\mathcal{H}$  с уже актуализированным источником метрики в  $\mathcal{C}$ . На языке двухуровневой стратификации [22]: уровень (a) — онтологическое присутствие вакуумных мод как потенциальности; уровень (b) — фактически-историческое участие в актуализированных конфигурациях. Гравитирует только то, что прошло SYNC-проекцию из (a) в (b). Вакуумные флуктуации до акта наблюдения принадлежат  $\mathcal{H}$ :

$$|0\rangle_{\text{vac}} \in \mathcal{H}, \quad T_{\mu\nu}^{\text{grav}} \in \mathcal{C}. \quad (12.5)$$

Гравитирует не весь формальный нулевой уровень  $\mathcal{H}$ , а только та часть вакуумной структуры, которая прошла SYNC-проекцию и стала относительным изменением причинной достижимости:

$$T_{\mu\nu}^{\text{grav}} = \mathcal{P}_{O,\text{SYNC}} \left[ \langle 0 | \hat{T}_{\mu\nu} | 0 \rangle \right]. \quad (12.6)$$

Однородная вакуумная компонента пропорциональна единице в потенциальном слое и не меняет относительную доступность конфигураций:

$$\mathcal{P}_{O,\text{SYNC}} [\rho_0 g_{\mu\nu} \mathbf{1}_{\mathcal{H}}] = 0. \quad (12.7)$$

Следовательно, космологическая постоянная в ОДТОЕ — не сумма всех локальных нулевых энергий, а малый остаточный SYNC-дисбаланс на границе причинно доступной области.

### ХИ.3. Горизонтное подавление на 120 порядков

Пусть  $R_H = c/H_0$  — радиус хаббловского причинного горизонта, а  $\ell_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar G/c^3}$  — планковская длина. Тогда естественный безразмерный фактор, связывающий планковскую плотность с глобальной причинной областью наблюдателя, равен

$$\epsilon_H = \left( \frac{\ell_{\text{Pl}}}{R_H} \right)^2 = \frac{\hbar G H_0^2}{c^5} \simeq 1.4 \times 10^{-122}. \quad (12.8)$$

Тогда ОДТОЕ-оценка наблюдаемой вакуумной плотности принимает вид

$$\rho_{\Lambda,E}^{\text{ОДТОЕ}} = \chi_{\Lambda} \rho_{\text{Pl},E} \left( \frac{\ell_{\text{Pl}}}{R_H} \right)^2 = \chi_{\Lambda} \frac{c^2 H_0^2}{G}. \quad (12.9)$$

Сравнение с (12.3) даёт

$$\chi_{\Lambda} = \frac{3\Omega_{\Lambda}}{8\pi} \simeq 8.2 \times 10^{-2}. \quad (12.10)$$

Таким образом, 122–123 порядка исчезают не за счёт тонкой настройки параметра, а за счёт причинно-горизонтной проекции: планковская плотность относится к микроскопической потенциальности, а наблюдаемая  $\Lambda$  относится к глобальному остаточному SYNC-напряжению на границе актуализируемой области.

### ХИ.4. Физический смысл решения

ОДТОЕ предлагает следующую интерпретацию:

1. **Потенциальный вакуум не равен источнику метрики.** Нулевые моды существуют в  $\mathcal{H}$  как спектр возможностей, но не обязаны гравитировать до актуализации.

2. **Гравитирует относительная доступность, а не абсолютный энергетический ноль.** Однородная добавка к вакууму не меняет причинные отношения  $C_i \preceq_O C_j$  и поэтому удаляется проектором (12.7).
3.  $\Lambda$  **является глобальным SYNC-остатком.** Космологическая постоянная кодирует не локальную плотность всех планковских осцилляторов, а остаточную кривизну причинного горизонта наблюдателя.
4. **Масштаб малости задаётся площадью, а не объёмом.** Фактор  $(\ell_{\text{Pl}}/R_H)^2$  указывает на граничную, а не объёмную природу эффекта.

В этом смысле ODTOE переводит проблему космологической постоянной из вопроса «почему вакуумная энергия почти полностью сокращается?» в вопрос «какая часть потенциального вакуума проходит SYNC-проекцию в причинно доступную конфигурацию?»

## **XII.5. Статус вывода**

Формулы (12.8)–(12.10) дают не окончательный квантово-гравитационный вывод  $\Lambda$ , а строгий порядок величины и механизм подавления. Они показывают, что в ODTOE нет необходимости настраивать локальный вакуумный вклад с точностью  $10^{-120}$ . Открытой остаётся задача вывести коэффициент  $\chi_\Lambda$  из микроскопической статистики SYNC-оператора, а не подставлять его из наблюдаемого  $\Omega_\Lambda$ . Естественный кандидат — выражение  $\chi_\Lambda$  через глобальную космологическую когерентность  $S^*$ , выводимую в [10], §XXV-A.

## **XIII. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ**

### **XIII.1. Часы в гравитационном поле**

ODTOE предсказывает стандартное гравитационное замедление времени:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \simeq \frac{\Delta\Phi_N}{c^2}. \quad (13.1)$$

Новизна не в численном отличии в слабом поле, а в интерпретации: частота часов есть частота актуализации конфигурации, а не поток внешнего времени.

### **XIII.2. Среды с высокой когерентностью**

Если командная когерентность  $S$  (в смысле меры синхронизации наблюдателей в кластере, см. [20,22]) влияет на эффективную инерцию конфигурации, то в высококогерентных средах возможны малые поправки к эффективной групповой скорости сигналов:

$$v_{\text{eff}}(S) = \frac{\alpha}{I_{\text{eff}}(S) + \varepsilon}, \quad c = \frac{r_0}{\tau_0} = \text{const.} \quad (13.2)$$

Это различает фундаментальный предел  $c$  и эффективную скорость распространения возбуждения в среде. Связь  $S \rightarrow I_{\text{eff}}$  можно прочесть как частный случай В-когерентности  $B = F \cdot E \cdot (1 - \sigma) \cdot \Lambda$ , развиваемой в [20,22] для коллективных наблюдателей: рост  $S$  повышает  $B$ , что снижает локальный  $\sigma$  и, через взаимодействие с конфигурационной инерцией, изменяет  $I_{\text{eff}}$ .

### ХIII.3. Горизонтная феноменология

Если горизонт есть граница  $I(C) \rightarrow \infty$ , то сильнополевые наблюдения должны быть особенно чувствительны к тому, как именно растёт  $I_{\text{eff}}$ :

$$I_{\text{eff}}(r) = I_0 f(r)^{-1/2}. \quad (13.3)$$

Возможные проверки: тени чёрных дыр [9], ringdown-спектры [7], задержки сигналов вблизи компактных объектов [6], сравнение нейтронно-звёздных [8] и чёрнодырных слияний.

## XIV. ОГРАНИЧЕНИЯ И СВЯЗИ С КОРПУСОМ ОДТОЕ

### XIV.1. Перечень ограничений и открытых вопросов

Настоящая статья оставляет открытыми по меньшей мере девять вопросов, каждый из которых имеет статус самостоятельной задачи и требует отдельной деривации. Список даётся не как «дорожная карта», а как честный список границ применимости настоящего изложения.

1. **Нет полного тензорного вывода  $G_{\mu\nu}$ .** Формула (11.1) остаётся программой: статья выводит лишь  $g_{00}^{\text{eff}}$  и принимает сферически-симметричный шварцшильдовский анзац для пространственной части. Полный вывод  $g_{\mu\nu}$  из микроскопической SYNC-суммы остаётся открытой задачей.
2. **Сферически-симметричный анзац не универсален.** Метрика Керра, нестационарные решения и динамические пространства-времена требуют включения углового момента, вихревой SYNC-компоненты и нестационарной доступности.
3. **Тензор энергии-импульса  $T_{\mu\nu}$  не выведен из В-функционала.** В §XI.2 указан кандидат  $T_{\mu\nu} = \delta S_{\text{obs}} / \delta g^{\mu\nu}$  с действием  $S_{\text{obs}} = \int B^2 (1 - \sigma) \Lambda \sqrt{-g} d^4x$ , но его проверка (симметричность, идемпотентность SYNC-проектора  $P_{O,\text{SYNC}}$ , согласие с термодинамическим выводом [5] в горизонтном пределе) — задача отдельной деривации.

4. **Тождества Бианки  $\nabla_\mu G^{\mu\nu} = 0$  требуют независимого доказательства.** Естественный путь — интерпретация Бианки как Noether-следствия диффеоморфной инвариантности самосогласованности оператора  $\Phi$  на конфигурационном многообразии. Этот вывод выходит за пределы настоящей статьи и относится к открытой программе.
5. **Коэффициент  $\chi_\Lambda \simeq 8.2 \cdot 10^{-2}$  получен из наблюдаемого  $\Omega_\Lambda$ , а не выведен.** В §XII.5 это явно отмечено. Естественный кандидат — закрытая форма  $\chi_\Lambda(S^*)$  через глобальную космологическую когерентность  $S^* = 0,169676 \dots$  из [10], §XXV-A.
6. **Иерархия условий причинности ОТО не воспроизведена явно.** Хронология, причинность, сильная и устойчивая причинность, глобальная гиперболичность, поверхности Коши и горизонты Коши, конформная структура, теоремы Хокинга–Пенроуза о неполноте геодезических, ловушечные поверхности, энергетические условия NEC/WEC/SEC/DEC — каждый из этих объектов требует ODTOE-аналога и независимого доказательства соответствия.
7. **Связь  $I(C)$  с измеряемой массой требует калибровки.** В макропределе используется  $m = \kappa I(C)$ , но микроскопическое измерение  $I(C)$  через P5-коллективные эксперименты [20] остаётся открытой задачей.
8. **Интерпретация  $\mathcal{H}$  как физического слоя, не общепринята.** Если  $\mathcal{H}$  считать только математическим устройством, объяснение горизонта как границы актуализации теряет часть онтологической силы.
9. **Сильнополевые поправки не вычислены.** Вблизи горизонтов и в ранней Вселенной могут появляться члены, зависящие от  $S$ ,  $\Delta d$  и топологии  $\varphi$ -тора.

## XIV.2. Связи с расширенным корпусом ODTOE (v10-расширения)

Причинный слой настоящей статьи естественно сопрягается с рядом расширений корпуса ODTOE, появившихся в v10-цикле:

- **В-функционал когерентности  $B = F \cdot E \cdot (1 - \sigma) \cdot \Lambda$ .** Самосогласованность оператора  $\Phi$  в (1.3) допускает интерпретацию как высокочастотное  $B$  для пары наблюдатель–конфигурация: фокус  $F$  задаётся выбором наблюдательного канала, согласование  $E$  — соответствие  $\hat{O}\Psi$  актуализированной конфигурации,  $(1 - \sigma)$  — отсутствие противоречий с историей актуализаций,  $\Lambda$  — накопленный опыт SYNC-успехов. Гравитация в этом языке — деформация  $B$ -ландшафта на пространстве конфигураций. См. [20,22].
- **Темп изменения когерентности  $dB/dt$ .** Динамика причинной структуры в нестационарном поле (например, во время BH-merger) описывается переходными процессами  $B(t)$ ; уравнение  $dB/dt$  из [22] §III даёт скорость изменения причинного будущего.

- **Плотность мировой линии**  $P(W)$ . Гравитирующая конфигурация может быть переописана как локальный максимум плотности  $P(W)$  актуализированных мировых линий [22] §V; чёрная дыра — особая точка  $P(W) \rightarrow \infty$  относительно внешнего наблюдателя.
- **Двухуровневая стратификация (а)/(б)**. Различение «онтологически любая  $I(C) > 0$  конфигурация в (а)» и «фактически-исторически наблюдаемая в (б)» уточняет §XII: вакуумные моды живут в (а) и не гравитируют, пока не пройдут SYNC-проекцию в (б) [22] §VI.
- **Неподвижные точки**  $\text{Fix}(\Phi)$ . Стационарность метрики в области без внешних возмущений эквивалентна  $\Phi$ -неподвижности конфигурации;  $\text{Fix}(\Phi)$  из [21] даёт естественный язык для равновесных решений типа Шварцшильда.

Из этих сопряжений вытекают три явно сформулированные гипотезы, которые задают конкретные мишени для будущих доказательств. Они приводятся здесь в форме предложений-кандидатов с явным статусом открытости.

- **Предложение  $T_{\text{Bianchi}}$  (гипотеза)**. Тожество  $\nabla_{\mu} G^{\mu\nu} = 0$  есть Noether-следствие диффеоморфной инвариантности самосогласованности оператора  $\Phi$ , рассматриваемой как симметрия  $S$ -функционала наблюдателя на конфигурационном многообразии. Доказательство требует строгой формулировки группы диффеоморфизмов  $\text{Diff}(M^4)$ , наследуемой от группы перенумерации SYNC-каналов, и применения теоремы Нётер.
- **Предложение  $T_{\text{idemp}}$  (гипотеза)**. SYNC-проектор  $P_{O,\text{SYNC}}$  на тензор  $T_{\mu\nu}$ , действующий из  $(B,I,S)$ -структуры наблюдателя, идемпотентен ( $P^2 = P$ ) и тождественен на нулевом векторе ( $P0 = 0$ ). Идемпотентность необходима для согласованности повторных измерений и сохранения энергии-импульса на  $\Phi$ -итерациях.
- **Предложение  $T_{\Lambda(S^*)}$  (гипотеза)**. Существует закрытая форма  $\chi_{\Lambda} = \chi_{\Lambda}(S^*)$ , выраженная через геометрические постоянные ( $\varphi, \pi$ ) и значение глобальной космологической когерентности  $S^* = 0,169676\dots$  из [10] §XXV-A, такая, что  $\rho_{\Lambda,E}^{\text{ODTOE}} = \chi_{\Lambda}(S^*) \rho_{\text{Pl},E} (\ell_{\text{Pl}}/R_H)^2$  численно совпадает с  $\rho_{\Lambda,E}^{\text{obs}}$  до  $\geq 4$  значащих цифр без подгонки.

Подробное развитие этих связей и гипотез выходит за рамки настоящей работы и относится к открытой программе, отмеченной ниже в §XIV.3.

### XIV.3. Открытая программа полной деривации

Настоящая статья выделяет причинный слой ОДТОЕ: он является необходимым этапом, но не достаточен для снятия дисклеймера, заявленного в §I. Полное преодоление дисклеймера требует, в нашей оценке, прохождения трёх логически последовательных этапов, каждый из которых имеет статус самостоятельной задачи и не может быть выполнен в рамках одной публикации.

1. **Первый этап — тензорная структура.** Вывод полного метрического тензора  $g_{\mu\nu}$  (а не только  $g_{00}^{\text{eff}}$  и сферически-симметричного анзаца), ковариантной производной  $\nabla_\mu$  как предела  $\Phi$ -итерационного коммутатора по направлению, тензора Римана  $R_{\sigma\mu\nu}^\rho$  как меры некоммутативности SYNC-операций по разным направлениям, тензоров Риччи  $R_{\mu\nu}$  и  $R$ , и определение тензора Эйнштейна  $G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R$  через стандартные свёртки. Включает также вывод метрики Керра как обобщения на источники с угловым моментом. Закрывает ограничения 1, 2, 7 из перечня §XIV.1.
2. **Второй этап — источник.** Вывод тензора энергии-импульса  $T_{\mu\nu}$  из (B,I,S)-структуры наблюдателя через SYNC-проектор  $P_{O,\text{SYNC}}$  (с доказательством идемпотентности, гипотеза  $T_{\text{idemp}}$  выше); закрытая форма  $\chi_\Lambda(S^*)$  (гипотеза  $T_{\Lambda(S^*)}$ ). Закрывает ограничения 3 и 5 из §XIV.1. Связь с термодинамическим выводом [5] предоставляет независимый канал верификации.
3. **Третий этап — замыкание и совместимость.** Доказательство уравнения поля  $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$  как условия  $\Phi$ -самосогласованности ( $\Phi(g, T) = (g, T)$  как фиксированная точка); тождества Бианки  $\nabla_\mu G^{\mu\nu} = 0$  как Noether-следствие диффеоморфной инвариантности (гипотеза  $T_{\text{Bianchi}}$ ); проверка совместимости со стандартными решениями ОТО (Шварцшильд как точное решение, Керр, FLRW); ODTOE-аналог теорем Хокинга–Пенроуза о сингулярностях через  $B \rightarrow 0$ -предел [22] §VII.3. Закрывает ограничения 4, 6, 9 из §XIV.1.

Каждый из трёх этапов структурно эквивалентен отдельной статье. Преждевременное снятие дисклеймера до прохождения всех трёх было бы нарушением академической добросовестности, поскольку центральные гипотезы  $T_{\text{Bianchi}}$ ,  $T_{\text{idemp}}$ ,  $T_{\Lambda(S^*)}$  остаются недоказанными. Настоящая работа обеспечивает только причинный слой первого этапа — но без него ни вывод  $g_{\mu\nu}$ , ни SYNC-проектор  $P_{O,\text{SYNC}}$ , ни Бианки-как-Noether сформулировать невозможно.

## XV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гравитация в ODTOE влияет на причинную структуру пространства-времени не как первичное искривление фона, а как изменение условий причинной достижимости в пространстве конфигураций. Фундаментальный уровень описания:

$$C_i \preceq_o C_j \iff \exists \gamma : A_o(\gamma) > 0, T_o(\gamma) < \infty. \quad (15.1)$$

Локальный предел  $c = r_0/\tau_0$  задаёт конус актуализации. Гравитация, будучи SYNC-процессом, изменяет конфигурационную инерцию и доступность путей, поэтому деформирует причинное будущее и прошлое наблюдателя. В макроскопическом слабополевом пределе это выглядит как эффективная метрика:

$$g_{00}^{\text{eff}} = \left( \frac{I_0}{I_{\text{eff}}} \right)^2 \simeq 1 + \frac{2\Phi_N}{c^2}. \quad (15.2)$$

Тем самым стандартные эффекты ОТО получают ОДТОЕ-интерпретацию: гравитационное замедление времени — это замедление актуализации из-за роста  $I(C)$ ; световой конус — проекция конуса актуализации; горизонт событий — граница, где  $I(C) \rightarrow \infty$  и последовательная причинная достижимость через  $C$  исчезает для внешнего наблюдателя.

Проблема космологической постоянной в этом языке получает естественное решение порядка величины: планковская вакуумная плотность относится к потенциальному слою  $\mathcal{H}$ , а наблюдаемая  $\Lambda$  возникает только после SYNC-проекции на причинный горизонт, что вводит фактор  $(\ell_{\text{pl}}/R_H)^2 \sim 10^{-122}$ .

Главный результат статьи — выделение причинного слоя ОДТОЕ между операторной онтологией и метрической феноменологией. Именно этот слой должен стать основой дальнейшего строгого вывода тензорной структуры гравитации, тождеств Бианки  $\nabla_\mu G^{\mu\nu} = 0$  как Noether-следствия диффеоморфной инвариантности самосогласованности  $\Phi$  [21], и микроскопического вывода коэффициента  $\chi_\Lambda$  через глобальную космологическую когерентность  $S^*$  из [10].

## APPENDIX A: СВОДКА ОСНОВНЫХ ФОРМУЛ

| Формула  | Смысл   | Номер |
|--|---|-------|
| $R = \hat{O}(\Psi)$  | Актуализация реальности оператором наблюдения   | 1.2   |
| $\Phi = \iota \circ \hat{O}$   | Самонаблюдательная петля  | 1.3   |
| $A(\Delta d) = \varphi^{- \Delta d }$  | Доступность между уровнями рекурсии   | 2.2   |
| $v = \alpha/(I + \varepsilon)$   | Скорость переконфигурации   | 2.4   |
| $c = r_0/\tau_0$   | Предельная скорость фронта актуализации   | 2.6   |
| $C_i \preceq_O C_j$  | Причинная достижимость конфигураций   | 3.1   |
| $g_{00}^{\text{eff}} = (I_0/I_{\text{eff}})^2$   | Временная компонента эффективной метрики  | 6.2   |
| $I_{\text{eff}} = I_0/\sqrt{1 - 2\Pi_I/c^2}$   | Инерционная форма гравитационного замедления (см. сноску в §V.1: в [10] §IX обозначается $\Phi_I$ ) | 5.2   |
| $r_s = 2GM/c^2$  | Горизонт как граница $I(C) \rightarrow \infty$  | 6.4   |
| $\rho_{\Lambda,E}^{\text{ODTOE}} = \chi_{\Lambda} \rho_{\text{pl},E} (\ell_{\text{pl}}/R_H)^2$ | Горизонтное подавление вакуумного вклада  | 12.9  |
| $v_{\text{GW}} = c$  | Скорость SYNC-возмущений в макропределе   | 10.3  |

## БЛАГОДАРНОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Автор благодарит участников проекта ОДТОЕ за обсуждения природы причинности, света, гравитации и горизонтов. Структурирование и техническая проверка текста выполнялись с использованием LaTeX, Python и AI-инструментов редактирования.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена без внешнего финансирования.

## REFERENCES

1. Einstein, A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, **49**(7), 769–822 (1916). <https://doi.org/10.1002/andp.19163540702>
2. Misner, C. W., Thorne, K. S., Wheeler, J. A. *Gravitation*. W. H. Freeman, San Francisco (1973).
3. Wald, R. M. *General Relativity*. University of Chicago Press (1984).
4. Hawking, S. W., Ellis, G. F. R. *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press (1973).
5. Jacobson, T. Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State. *Physical Review Letters*, **75**(7), 1260–1263 (1995). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.75.1260>
6. Shapiro, I. I. Fourth Test of General Relativity. *Physical Review Letters*, **13**(26), 789–791 (1964). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.13.789>
7. Abbott, B. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, **116**, 061102 (2016). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
8. Abbott, B. P. et al. GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral. *Physical Review Letters*, **119**, 161101 (2017). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.161101>
9. Event Horizon Telescope Collaboration. First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. *The Astrophysical Journal Letters*, **875**, L1 (2019). <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab0ec7>

10. Панкратов, А. С. Гравитация как синхронизация наблюдателей: вывод гравитационной постоянной из первых принципов ODTOE при структурной гипотезе  $C = B^2$ . Препринт (2026). slug: ODTOE\_gravity\_v2.
11. Панкратов, А. С. Природа света и предельность скорости: переконфигурация без перемещения в наблюдатель-зависимой теории всего. Препринт (2026). slug: ODTOE\_light\_teleportation.
12. Панкратов, А. С. Время как производная наблюдения: странная петля и нефундаментальность темпоральности в ODTOE. Препринт (2026). slug: ODTOE\_time\_strange\_loop.
13. Панкратов, А. С. Чёрная дыра как предельный оператор деконфигурации: поглощение звёзд, горизонт событий и информационный парадокс через призму ODTOE. Препринт (2026). slug: ODTOE\_black\_holes.
14. Панкратов, А. С. Преодоление барьеров реальности: конфигурационные пороги и причинные горизонты в ODTOE. Препринт (2026). slug: ODTOE\_preodolenie\_barierov.
15. Weinberg, S. The Cosmological Constant Problem. *Reviews of Modern Physics*, **61**(1), 1–23 (1989). <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.61.1>
16. Carroll, S. M. The Cosmological Constant. *Living Reviews in Relativity*, **4**, 1 (2001). <https://doi.org/10.12942/lrr-2001-1>
17. Martin, J. Everything You Always Wanted To Know About The Cosmological Constant Problem (But Were Afraid To Ask). *Comptes Rendus Physique*, **13**(6–7), 566–665 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2012.04.008>
18. Planck Collaboration. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astronomy & Astrophysics*, **641**, A6 (2020). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833910>
19. Панкратов, А. С. Наблюдатель-зависимая теория всего: аксиоматика, операторы и базовые следствия. Препринт (2026). slug: ODTOE\_article.
20. Панкратов, А. С. Коллективный наблюдатель и P5: командная когерентность  $S$  и проекция вакуума через SYNC. Препринт (2026). slug: ODTOE\_collective\_observer.
21. Панкратов, А. С. Унифицированный оператор  $\Phi$ : спектральные свойства, неподвижные точки и  $\pi$ -период самосогласованности. Препринт (2026). slug: ODTOE\_unified\_operator.
22. Панкратов, А. С. Динамический аттрактор в ODTOE:  $dB/dt$ ,  $P(W)$ , двухуровневая стратификация и  $\text{Fix}(\Phi)$ . Препринт (2026). slug: ODTOE\_dynamic\_attractor.